

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR PARA PEQUEÑAS EMPRESAS



Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el bachiller:

William Antonio Jave Magni

ASESOR: Wilmer Atoche Díaz

Lima, mayo de 2013

RESUMEN

El presente trabajo trata del análisis, diseño e implementación de un simulador para pequeñas empresas. Un simulador para pequeñas empresas es una herramienta de síntesis que permite evaluar el rendimiento del negocio por decisiones tomadas sobre aspectos estratégicos de la pequeña empresa.

A través de esta herramienta, es posible simular escenarios y determinar el conjunto de decisiones necesarias para llevar a la empresa de una situación de negocio a otra. Estas capacidades se convierten en un soporte importante para la Gerencia al momento de evaluar y trazar las expectativas futuras del negocio.

Este trabajo consta de cinco capítulos. El primero presenta los conceptos y definiciones de las tres áreas clave que integran el análisis, diseño e implementación de la pequeña empresa. Estas áreas son: Simulación de sistemas, programación lineal y sistemas de información.

El segundo capítulo describe el alcance del problema que se intenta resolver en el presente trabajo de tesis, así como una descripción general del simulador, que es la solución a implementar.

El tercer capítulo presenta al detalle el análisis, diseño e implementación del simulador para la empresa ABC, el cual consta de tres fases: Modelo conceptual, modelo de negocio y sistema de información. El producto final es una hoja de cálculo en Excel con las capacidades mencionadas en el segundo párrafo.

El cuarto capítulo describe la aplicación del simulador para identificar las decisiones a tomar por una pequeña empresa de catering para incrementar su nivel de ventas. Asimismo, se realiza una serie de análisis de sensibilidad para observar el efecto de las decisiones y variables del negocio sobre el rendimiento de la empresa. Las decisiones identificadas se presentan como: Añadir una hornilla de cocina, contratar un operario más para la preparación de sándwiches, contratar un operario más para el apilado, solicitar un préstamo de S/. 56,000 al inicio del periodo.

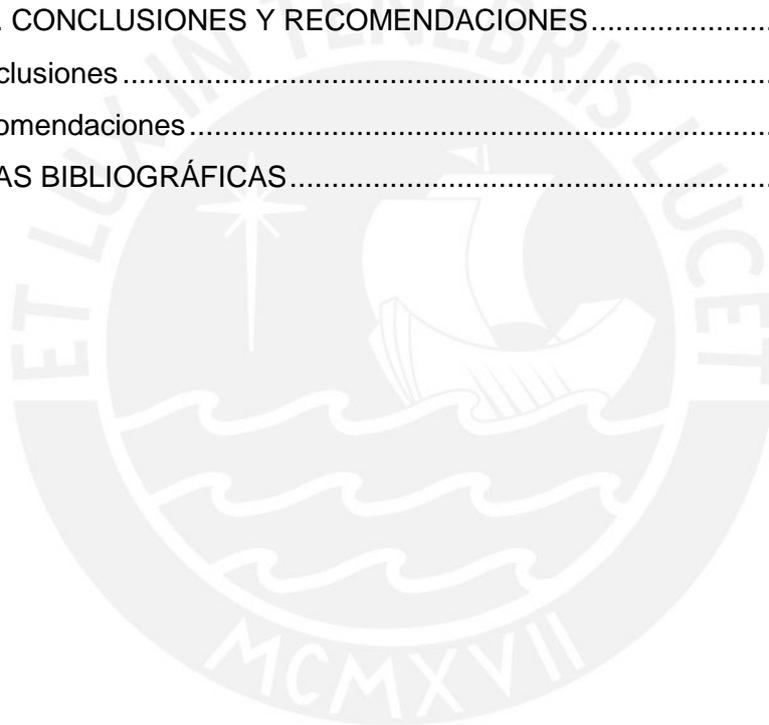
Finalmente, en el quinto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones que derivan de la elaboración del presente trabajo de tesis.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Simulación de sistemas.....	1
1.1.1. Conceptos básicos.....	1
1.1.2. Simulación por computadora.....	3
1.1.3. Estadística y probabilidad para simulación de eventos discretos.....	5
1.1.3.1. Variables aleatorias y propiedades.....	5
1.1.3.2. Generación de variables aleatorias por transformada inversa.....	6
1.2. Programación lineal.....	6
1.2.1. Conceptos básicos.....	6
1.2.2. Terminología de las soluciones del modelo.....	7
1.3. Sistemas de información.....	8
1.3.1. Definiciones básicas.....	8
1.3.2. Sistemas de apoyo a la toma de decisiones y apoyo a ejecutivos.....	9
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	11
2.1. Descripción general de la empresa ABC.....	11
2.2. Descripción general de la problemática.....	12
2.3. Descripción general de la solución.....	13
2.4. Decisiones estratégicas de la empresa ABC.....	14
CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE MEJORA.....	16
3.1. Descripción general de la propuesta de mejora.....	16
3.1.1. Concepto.....	16
3.1.2. Enfoque.....	16
3.1.3. Etapas de desarrollo.....	16
3.1.3.1. Diseño.....	18
3.1.3.2. Implementación.....	18
3.1.4. Alcance de la propuesta de mejora.....	20
3.2. Modelo conceptual.....	21
3.3. Modelo de negocio.....	22
3.3.1. Variables de decisión.....	22
3.3.2. Parámetros de configuración.....	23

3.3.3. Definiciones y algoritmos.....	24
A- Variación de la demanda debido a decisiones y factores externos.....	24
B- Simulación de la demanda por producto P_n en cada periodo t	25
C- Materias primas	26
D- Procesos y recursos productivos	28
E- Mezcla de producción	30
F- Tiempo consumido en los recursos de producción	32
G- Productos	32
H- Costos	33
I. Gastos	36
J- Ventas y forma de pago.....	36
K- Requerimiento de efectivo.....	37
L- Financiamiento	37
3.3.4. Variables de resultado.....	39
M- Estados financieros	39
N- Indicadores de gestión	40
3.4. Implementación	41
3.4.1. Versiones	41
3.4.2. Versión 1 – V1.....	42
3.4.2.1. Interfaces	42
3.4.2.2. Formulación.....	42
3.4.2.3. Programación.....	42
3.4.2.4. Testing	43
3.4.3. Versión 2 – V2.....	43
3.4.3.1. Interfaces	43
3.4.3.2. Formulación.....	44
3.4.3.3. Programación.....	44
3.4.3.4. Testing	45
3.4.3.5. Documentación	45
CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	46
4.1. Caso: Empresa de Catering.....	46
4.1.1. Descripción general de la empresa	46
4.1.2. Comportamiento del mercado	49
4.1.3. Condiciones iniciales de la empresa	49
4.1.4. Corrida inicial en simulador de empresa	50
4.2. Análisis de sensibilidad: “Empresa de Catering”	53

4.2.1.	Horas de planta.....	53
4.2.2.	Precio de venta	54
4.2.3.	Abastecimiento de materias primas	54
4.2.4.	Eficiencia de equipos	56
4.2.5.	Costo de mano de obra.....	56
4.2.6.	Costo de materia prima.....	57
4.2.7.	Tasa de interés del préstamo.....	58
4.2.8.	Tasa de interés de sobregiros.....	58
4.3.	Uso del simulador para toma de decisiones de negocio	59
4.3.1.	Materias primas	59
4.3.2.	Equipos u operarios activos por proceso productivo	60
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		65
5.1.	Conclusiones.....	65
5.2.	Recomendaciones.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		67



INTRODUCCIÓN

Un simulador para pequeñas empresas es una herramienta de síntesis empleada para evaluar el rendimiento del negocio debido a decisiones tomadas sobre áreas estratégicas. Las áreas consideradas en el presente trabajo son: Márketing, producción, logística y finanzas.

El principal beneficio de esta herramienta es que posibilita la simulación de escenarios y la determinación de las decisiones requeridas para llevar a la pequeña empresa de una situación de negocio a otra. Gracias a esto, la Gerencia cuenta con un soporte importante al momento de evaluar y trazar las expectativas futuras del negocio.

Este trabajo consta de cinco capítulos. El primero presenta los conceptos y definiciones de las tres áreas clave que integran el análisis, diseño e implementación de la pequeña empresa. Estas áreas son: Simulación de sistemas, programación lineal y sistemas de información.

El segundo capítulo describe el alcance del problema que se intenta resolver en el presente trabajo de tesis, así como una descripción general del simulador, que es la solución a implementar.

El tercer capítulo presenta al detalle el análisis, diseño e implementación del simulador para la empresa ABC, el cual consta de tres fases: Modelo conceptual, modelo de negocio y sistema de información. El producto final es una hoja de cálculo en Excel con las capacidades mencionadas en el segundo párrafo.

El cuarto capítulo describe la aplicación del simulador para identificar las decisiones a tomar por una pequeña empresa de catering para incrementar su nivel de ventas. Asimismo, se realiza una serie de análisis de sensibilidad para observar el efecto de las decisiones y variables del negocio sobre el rendimiento de la empresa. Las decisiones identificadas se presentan como: Añadir una hornilla de cocina, contratar un operario más para la preparación de sándwiches, contratar un operario más para el apilado, solicitar un préstamo de S/.56,000 al inicio del periodo.

Finalmente, en el quinto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones que derivan de la elaboración del presente trabajo de tesis.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Decisiones estratégicas por función	14
Tabla 2.2. Variables de incidencia al negocio de ABC por decisión estratégica	15
Tabla 3.1. Etapas de desarrollo de simulador de empresa ABC	17
Tabla 3.2. Etapas de implementación del sistema de información	20
Tabla 3.3. Comparación del alcance de la versión 1 y 2	21
Tabla 3.4. Supuestos modelo conceptual	22
Tabla 3.5. Variables de decisión	22
Tabla 3.6. Áreas funcionales y variables de decisión asignadas	23
Tabla 3.7.A. Parámetros de configuración	23
Tabla 3.7.B. Parámetros de configuración	24
Tabla 3.8. Ajuste de la media de demanda por producto	25
Tabla 3.9. Demanda por producto	25
Tabla 3.10. Requerimiento de materias primas por producto	26
Tabla 3.11. Tiempos estándar de productos por proceso	28
Tabla 3.12. Existencia de recursos de producción	29
Tabla 3.13. Eficiencia de recursos de producción existentes	29
Tabla 3.14. Cuellos de botella por producto	30
Tabla 3.15. Costeo de materias primas	34
Tabla 3.16. Costeo de productos	35
Tabla 3.17. Dinámica de pagos y saldos deudores de préstamos y sobregiros	38
Tabla 3.18.A. Rubros del estado de ganancias y pérdidas	39
Tabla 3.18.B. Rubros del estado de ganancias y pérdidas	39
Tabla 3.19. Rubros del estado de flujo de efectivo	40
Tabla 3.20. Indicadores claves de marketing	40
Tabla 3.21. Indicadores claves de producción	41
Tabla 3.22. Indicadores claves de logística	41
Tabla 3.23. Indicadores claves de finanzas	41
Tabla 3.24. Interfaces del sistema de información – versión 1	42
Tabla 3.25. Interfaces del sistema de información – versión 2	43
Tabla 3.26. Programas del sistema de información – versión 2	45
Tabla 4.1. Caso: Empresa de Catering	46
Tabla 4.2. Principales materias primas empleadas en “Empresa de Catering”	47
Tabla 4.3. Requerimiento de materias primas por cada producto de “Empresa de Catering”	47
Tabla 4.4. Principales operaciones empleadas en “Empresa de Catering”	48
Tabla 4.5. Comportamiento de mercado por producto de “Empresa de Catering”	49
Tabla 4.6. Personas o equipos activos por proceso productivo – caso base	49
Tabla 4.7. Costos logísticos de materias primas – caso base	50
Tabla 4.8. Costos logísticos de producto terminado – caso base	50

Tabla 4.9. Parámetros financieros – caso base	50
Tabla 4.10. Definición de escenarios de simulador	51
Tabla 4.11. Decisiones – caso base	51
Tabla 4.12. Indicadores de rendimiento – caso base	52
Tabla 4.13. Estados financieros – caso base	52
Tabla 4.14. Indicadores de rendimiento según variación de las horas de planta	53
Tabla 4.15. Indicadores de rendimiento según variación del precio de venta	54
Tabla 4.16. Casos de abastecimiento de materias primas	55
Tabla 4.17. Ventas e inventario promedio según variación del abastecimiento de MP	55
Tabla 4.18. Gastos financieros y utilidad neta según variación del abastecimiento de MP	55
Tabla 4.19. Indicadores de rendimiento según variación de la eficiencia de 1COC	56
Tabla 4.20. Indicadores de rendimiento según variación del costo de mano de obra	56
Tabla 4.21. Costo unitario de materias primas por caso	57
Tabla 4.22. Indicadores de performance según variación del costo de MP	57
Tabla 4.23. Indicadores financieros según variación de tasa de interés de préstamo	58
Tabla 4.24. Indicadores según variación de la tasa de interés de sobregiros	58
Tabla 4.25. Requerimiento de materias primas para satisfacer demanda	59
Tabla 4.26. Capacidad de producción y abastecimiento para satisfacer demanda	60
Tabla 4.27. Resultados primera corrida para satisfacer la demanda	60
Tabla 4.28. Segundo operario para 2PSA y segunda hornilla 1COC	61
Tabla 4.29. Resultados segunda corrida para satisfacer demanda	61
Tabla 4.30. Tercer operario para apilado, sellado y etiquetado (5APE)	62
Tabla 4.31. Resultados tercera corrida para satisfacer la demanda	62
Tabla 4.32. Préstamo de S/. 56,000	62
Tabla 4.33. Indicadores de rendimiento – corrida final	63
Tabla 4.34. Estados financieros – corrida final	63
Tabla 4.35. Resumen de corridas: Resultados y decisiones	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Formas de estudiar un sistema	2
Figura 1.2. Proceso de estudio de simulación	4
Figura 1.3. Actividades de un sistema de información	9
Figura 3.1. Concepto de simulador de empresa ABC	16
Figura 3.2. Enfoque de simulador de empresa ABC	17
Figura 3.3. Etapas de desarrollo de simulador de empresa ABC	17
Figura 3.4. Elementos del modelo matemático	18
Figura 3.5. Elementos del sistema de información	19
Figura 3.6. Etapas de implementación del sistema de información	19
Figura 3.7. Alcance de la propuesta de mejora	20
Figura 3.8. Flujo de unidades de MP_m y P_n en planta ABC	27
Figura 3.9. Costeo de productos	35
Figura 3.10. Enfoque de simulador de empresa ABC	44
Figura 4.1. Secuencia y tiempo de operaciones por producto	48

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1. Simulación de sistemas

1.1.1. Conceptos básicos

Kelton y Sadowski (2004) definen simulación como “una amplia colección de métodos y aplicaciones que imitan el comportamiento de sistemas reales, usualmente en una computadora con el software adecuado”.

Según Kelton y Law (2000), un sistema es un conjunto de entidades (personas o máquinas), que actúan e interactúan hacia el logro de algún fin lógico. En la práctica, lo que se entienda por “sistema” dependerá de los objetivos de un estudio en particular. El conjunto de entidades involucradas en un sistema para un estudio podría ser tan solo un subconjunto de las entidades del sistema para otro estudio.

Se define como estado de un sistema al conjunto de variables necesarias para describir un sistema en un momento específico, relativo a los objetivos de un estudio.

En algún punto de la vida de muchos sistemas, existe la necesidad de estudiarlos para comprender las relaciones entre varios componentes, o para predecir el rendimiento bajo nuevas condiciones a considerar. **La figura 1.1** muestra las diferentes formas en las cuales un sistema puede ser estudiado.

Una vez que se tiene construido el modelo matemático, debe ser examinado para ver cómo puede ser usado para responder a las preguntas de interés sobre el sistema que supuestamente representa. Si el modelo es suficientemente sencillo, es posible trabajar con sus relaciones y cantidades para obtener una solución exacta, analítica. Sin embargo, muchos sistemas son altamente complejos, por lo que los modelos matemáticos válidos para estos son en sí complejos, excluyendo la posibilidad de una solución analítica. En este caso, el modelo debe ser estudiado por medio de simulación.

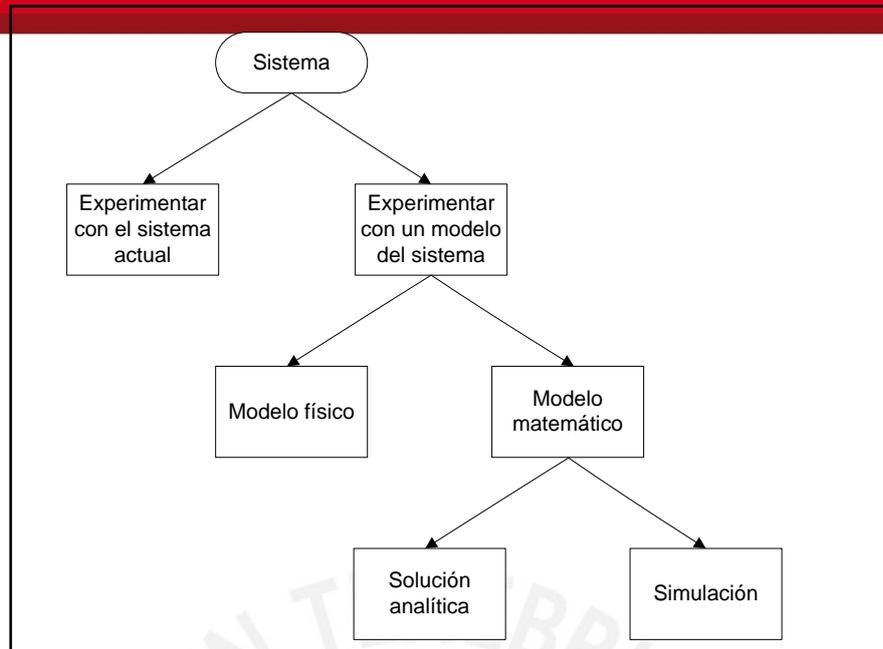


Figura 1.1. Formas de estudiar un sistema
 Fuente: Kelton y Law (2000).

Entonces, dado un modelo matemático a ser estudiado por medio de simulación (o modelo de simulación), se debe buscar las herramientas para llevar esto a cabo. Para ello, resulta útil clasificar los modelos de simulación en tres diferentes dimensiones:

- Estáticos vs Dinámicos. Un modelo de simulación estático es una representación de un sistema en un momento particular, o uno que será usado para representar un sistema en el cual el tiempo básicamente no juega ningún rol. Por otro lado, un modelo de simulación dinámico representa un sistema que evoluciona en el tiempo.
- Determinísticos vs Estocásticos. Si un modelo de simulación no contiene ningún componente probabilístico (aleatorio), se denomina determinístico. Muchos sistemas, sin embargo, deben ser modelados teniendo por lo menos algunas entradas aleatorias, y estos originan los modelos de simulación estocásticos.
- Discretos vs Continuos. Un sistema discreto es aquel por el que las variables de estado cambian instantáneamente en puntos separados de tiempo. Un sistema continuo es aquel por el cual las variables de estado cambian continuamente con respecto al tiempo.

El presente trabajo de tesis empleará modelos discretos, dinámicos y estocásticos, para lo cual se apoyará en principios estadísticos que serán expuestos en el punto 1.1.3.

1.1.2. Simulación por computadora

Desde un punto de vista práctico, Kelton y Sadowski (2004) definen la simulación como “el proceso de diseñar y crear un modelo computarizado de un sistema real o propuesto con el propósito de realizar experimentos numéricos que nos den un mejor entendimiento del comportamiento del sistema ante determinadas condiciones” (p.40).

Kelton y Law (2000) plantean un procedimiento para realizar un estudio de simulación típico y completo, el cual se muestra en la **Figura 1.2**.

El procedimiento inicia con la formulación del problema a resolver y la determinación de los estudios que harán posible obtener los datos necesarios para armar el modelo de simulación. Si el modelo conceptual es válido, se procede con la elaboración del programa a computadora y su respectiva verificación.

Se continúa el procedimiento con la realización de corridas piloto, en las cuales se comprueba si el modelo programado es válido o no. En caso de ser válido, se continúa con el diseño de experimentos y la ejecución de corridas de producción. Finalmente, se realiza un análisis de los datos de salida y se documenta, presenta y usa los resultados obtenidos.

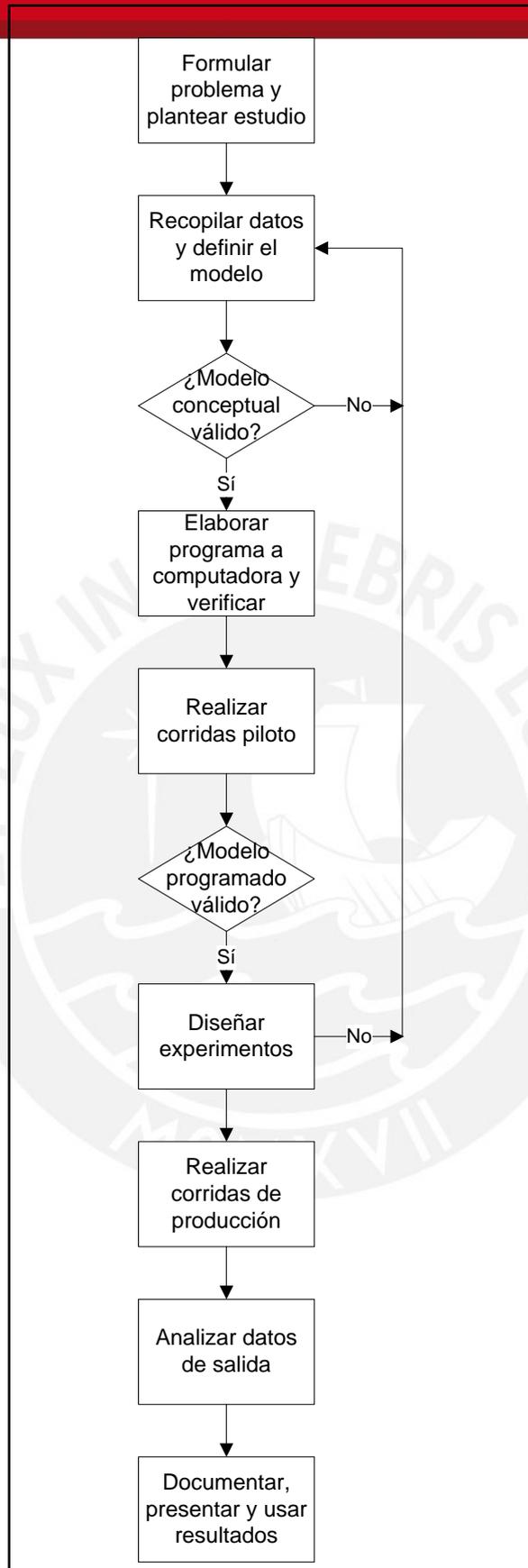


Figura 1.2. Proceso de estudio de simulación
Fuente: Kelton y Law (2000).

1.1.3. Estadística y probabilidad para simulación de eventos discretos

1.1.3.1. Variables aleatorias y propiedades

Según Kelton y Law (2000), un *experimento* es un proceso cuyo resultado no se conoce con certeza. El conjunto de posibles resultados de un experimento se denomina *espacio muestral*, denotado por la letra S . Los resultados mismos se denominan *puntos* del espacio muestral.

Una *variable aleatoria* es una función (o regla) que asigna un número real (cualquier número mayor a $-\infty$ y menor a $+\infty$) a cada punto del espacio muestral. Se denota las variables aleatorias con letras mayúsculas como X, Y, Z y los valores que toman con letras minúsculas como x, y, z .

La *función de distribución* (algunas veces llamada la función de distribución *acumulada*) $F(x)$ de la variable aleatoria X es definida por cada número real x como sigue:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad \text{para } -\infty < x < +\infty$$

Donde $P(X \leq x)$ significa la probabilidad asociada con el evento $\{X \leq x\}$. En consecuencia, $F(x)$ es la probabilidad de que, cuando el experimento se lleve a cabo, la variable aleatoria X tenga un valor no mayor que el número x .

Una función de distribución $F(x)$ tiene las siguientes propiedades:

- $0 \leq F(x) \leq 1$ para todo x .
- $F(x)$ es no decreciente, es decir, si $x_1 < x_2$, entonces $F(x_1) \leq F(x_2)$.
- $\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0$ y $\lim_{x \rightarrow +\infty} F(x) = 1$, ya que X toma solo valores finitos.

1.1.3.2. Generación de variables aleatorias por transformada inversa

Según Kelton y Law, sea F^{-1} la función inversa de una función F que es continua y estrictamente creciente cuando $0 < F(x) < 1$. Por lo tanto, un algoritmo para generar una variable aleatoria X teniendo función de distribución F es como sigue:

- a) Generar U distribuido como $U(0,1)$
- b) Retornar $X = F^{-1}(U)$

Cabe resaltar que $F^{-1}(U)$ estará siempre definido, dado que $0 \leq U \leq 1$ y el rango de F es $[0,1]$. Para demostrar que el valor de X retornado por el algoritmo, llamado el método general de *transformación inversa*, tiene la distribución F deseada, se debe demostrar que para un número real x , $P(X \leq x) = F(x)$. Como F es invertible, se tiene:

$$P(X \leq x) = P(F^{-1}(U) \leq x) = P(U \leq F(x)) = F(x)$$

Donde la última igualdad sigue dado que $U \sim U(0,1)$ y $0 \leq F(x) \leq 1$

1.2. Programación lineal

1.2.1. Conceptos básicos

Hillier y Lieberman (2006) definen la programación lineal como:

“Una herramienta que maneja el problema de asignar de la mejor manera posible – es decir, de forma óptima – recursos limitados a actividades que compiten entre sí por ellos. De manera más precisa, este problema consiste en elegir el nivel de ciertas actividades que compiten por recursos escasos necesarios para realizarlas (...) Después, los niveles de actividad elegidos dictan la cantidad de recursos que consumirá cada una de ellas”. (p.25)

La programación lineal emplea un modelo matemático para describir el problema. El adjetivo lineal implica que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales. La palabra programación es sinónimo de planeación. En consecuencia, la programación lineal involucra el planeamiento de las actividades para conseguir un resultado óptimo; es decir, aquel que mejor llegue a la meta especificada entre todas las actividades realizables. Todo problema cuyo modelo se adecúe al modelo de programación lineal, es un problema de programación lineal.

Hillier y Lieberman (2006) formulan un problema de programación lineal como sigue:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Optimizar} & Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\
 \text{Sujeto a las restricciones:} & \\
 & a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\
 & a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\
 & a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \\
 \text{Y:} & \\
 & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \text{ (p.33)}
 \end{array}$$

El modelo plantea el problema en términos de tomar decisiones sobre los niveles de las actividades, por lo que $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ se llaman variables de decisión. Los valores de c_j, b_j y a_{ij} son las constantes de entrada o parámetros del modelo. Los términos clave son recursos y actividades en los que m denota el número de tipos de recursos que se pueden usar y n el número de actividades que se consideran. La función que se desea optimizar (maximizar o minimizar), $c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$, se llama función objetivo. Las primeras restricciones (aquellas con una función de todas las $a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n$ en el lado izquierdo) reciben el nombre de restricciones funcionales o estructurales. De forma similar, las restricciones $x_j \geq 0$ se conocen como restricciones de no negatividad.

1.2.2. Terminología de las soluciones del modelo

Según Hillier y Lieberman (2006), "cualquier conjunto de valores específicos de las variables de decisión (x_1, x_2, \dots, x_n) se llama una solución" (p.32). Sin embargo, las soluciones se clasifican de la siguiente manera:

- Solución factible: Satisface todas las restricciones.
- Solución no factible: Infringe al menos una restricción.
- Región factible: Conjunto de todas las soluciones factibles.
- Solución factible en un vértice: Se encuentra en una esquina de la región factible.
- Solución óptima: Solución factible que proporciona el valor más favorable de la función objetivo. Puede haber una o varias soluciones óptimas.

Es posible que un problema no tenga soluciones factibles, así como tampoco soluciones óptimas. Lo segundo ocurre solo si el problema no tiene soluciones factibles o las restricciones no impiden que el valor de la función objetivo mejore indefinidamente en la dirección más conveniente. Este caso se conoce como un problema con objetivo no acotado.

Para Hillier y Lieberman (2006), el valor más favorable significa “el valor más grande si la función objetivo (Z) debe maximizarse o el valor más pequeño si la función objetivo debe minimizarse” (p.37).

1.3. Sistemas de información

1.3.1. Definiciones básicas

Laudon y Laudon (2004) definen sistema de información como “un conjunto de componentes relacionados que recolectan (o recuperan), procesan, almacenan y distribuyen información para apoyar la toma de decisiones y el control en una organización”. Para dar soporte a este concepto, es necesario distinguir entre dato e información. El primero se define como “secuencia de hechos en bruto” y el segundo como “datos que se han moldeado en una forma significativa y útil para los seres humanos”.

Laudon y Laudon (2004) establecen tres actividades en un sistema de información que producen la información que las organizaciones requieren para tomar decisiones, controlar operaciones, analizar problemas y crear productos y servicios nuevos. Estas son: entradas, procesamientos y salidas. Las entradas “capturan o recolectan datos en bruto tanto del interior de la organización como de su entorno externo”. El procesamiento “convierte esta entrada de datos en una forma más significativa”. Las salidas “transfieren información procesada a la gente que la usará o a las actividades para las que la utilizará”. Asimismo, los sistemas de información necesitan retroalimentación, que es “la salida que se devuelve al personal adecuado de la organización para ayudarlo a evaluar o corregir la etapa de entrada”. Estos términos se ilustran en la **figura 1.3**.

El presente trabajo de tesis pone su interés sobre los sistemas de información basados en computadora formales de una organización. Según Laudon y Laudon (2004), estos “se apoyan en definiciones fijas y aceptadas de datos y procedimientos para recolectar, almacenar, distribuir y utilizar estos datos”.

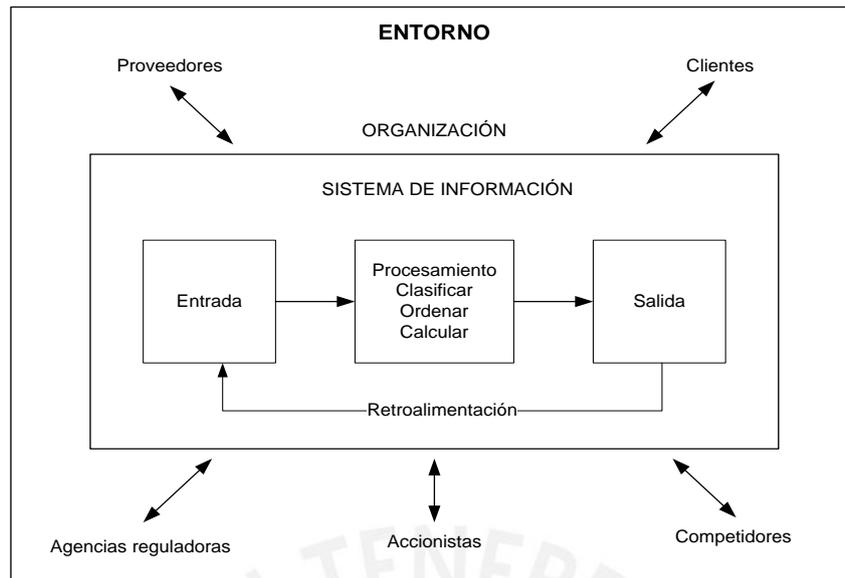


Figura 1.3. Actividades de un sistema de información
Fuente: Laudon y Laudon (2004).

1.3.2. Sistemas de apoyo a la toma de decisiones y apoyo a ejecutivos

Según Laudon y Laudon (2004), los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (DSS¹) “ayudan a los gerentes a tomar decisiones que son exclusivas, rápidamente cambiantes y no especificadas fácilmente con anticipación”. Debido a su diseño, los DSS poseen más poder analítico que otros sistemas. Están constituidos por una variedad de modelos para el análisis de datos y pueden condensar grandes cantidades de datos para facilitar el proceso de análisis. Son interactivos, es decir, el usuario puede variar supuestos, hacer nuevas preguntas e incluir nuevos datos.

Con estos sistemas se puede llevar a cabo acciones como análisis de la región de ventas, programación de la producción, análisis de costos, análisis de fijación de precios y rentabilidad y análisis de costo de contratos.

Para Laudon y Laudon (2004), los sistemas de apoyo a ejecutivos (ESS²) son ejecutados para tomar decisiones. Estos sistemas “dan servicio al nivel estratégico de la organización y auxilian en las decisiones no rutinarias que requieren juicio, evaluación y comprensión porque no hay un procedimiento convenido para llegar a una solución”. No están diseñados para resolver problemas específicos, sino una

¹ DSS: Decision support system

² ESS: Executive support system

gama cambiante de problemas, gracias a su capacidad generalizada de cómputo, análisis y comunicaciones.

Con estos sistemas se puede llevar a cabo acciones como pronóstico de tendencia de ventas a cinco años, plan operativo a largo plazo, pronóstico de presupuesto a largo plazo, planeación de utilidades y planeación de personal.

Tanto los DSS como los ESS emplean simulaciones y gráficas como vehículos de procesamiento de las entradas del sistema.



CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

2.1. Descripción general de la empresa ABC

La empresa ABC es una pequeña empresa que presenta las siguientes características:

- Tiene entre 10 y 50 trabajadores
- Factura entre 151 y 850 UIT
- Se dirige a un único mercado
- Cuenta con una única instalación de producción
- Produce y comercializa de 1 a N productos
- Emplea de 1 a M materias primas
- Emplea de 1 a P procesos productivos
- Emplea de 1 a K recursos por proceso productivo

La empresa ABC no es una empresa mediana, grande o multinacional, ni una organización sin fines de lucro. Esta tesis no está dirigida a resolver los problemas de las organizaciones mencionadas.

Dado el tamaño de la empresa y el hecho de que se encuentra en una fase inicial de crecimiento, los procesos, transacciones y administración de recursos son mucho más simples y en menor número que las de las medianas o grandes empresas, lo que lleva a la existencia de pocos niveles gerenciales, centralización de decisiones y una reducción de errores por comunicación entre líneas jerárquicas.

La gestión de la empresa ABC gira en torno a cuatro funciones claves:

- **Márketing:** Abarca todo lo concerniente a la relación entre los productos y el mercado en los que son ofrecidos.
- **Producción:** Abarca todo lo referido a la fabricación del producto en sí para satisfacer la demanda.
- **Logística:** Abarca todo lo asociado al abastecimiento de materias primas y almacenamiento.
- **Finanzas:** Abarca todo lo relacionado a la captación de los recursos económicos para dar continuidad al ciclo de negocios.

Estas funciones están amarradas a decisiones tanto estratégicas como operativas que en conjunto producen un resultado de negocio reflejado en los indicadores de rendimiento.

2.2. Descripción general de la problemática

Actualmente, la empresa ABC necesita una herramienta más analítica y cuantitativa que la intuición u opinión de expertos para apoyar la toma de decisiones. Una de las herramientas que cumple las características mencionadas se denomina simulador de empresa.

Un simulador de empresa es un sistema de información que soporta la toma de decisiones basado en un modelo matemático, permitiendo la experimentación en un entorno libre de riesgos. En la medida que exista uno o varios simuladores que agreguen valor a la toma de decisiones y pueda emplearse con facilidad, la empresa ABC podrá evaluar e identificar decisiones que podrían impactar positivamente los resultados del negocio.

Adquirir herramientas sofisticadas tales como SAP, Oracle o Visual Jobshop es absolutamente inapropiado para la realidad y necesidades de la empresa ABC, debido a su elevada complejidad y al elevado volumen de información que se requiere para configurar la empresa. Asimismo, implementar estas herramientas implica un alto costo.

Por lo tanto, si la empresa ABC pretende implementar un simulador de empresa, este deberá ser poco complejo, de fácil uso y con capacidad de agregar valor a la toma de decisiones, empleando solo las variables críticas para el negocio.

2.3. Descripción general de la solución

El simulador adecuado para la empresa ABC debe provenir de una visión integral, estratégica con base en modelos matemáticos y determinando las variables que afectan críticamente al negocio. Esto se traduce en las siguientes características de la solución:

- Basada en modelo de negocio: El simulador se basa en un modelo matemático compuesto por variables de decisión, parámetros de configuración, procesos de cálculo y variables de resultado. Se espera que el modelo refleje lo más cercanamente posible la realidad del ciclo de negocio de la empresa, de modo que las variables de resultado tengan una interpretación que agregue valor a la toma de decisiones.
- Enfoque estratégico del modelo: El modelo matemático debe estar compuesto por variables que afecten significativamente el resultado del negocio (indicadores de rendimiento). Estas variables son principalmente decisiones gerenciales, que se reparten entre las cuatro funciones mencionadas anteriormente: márketing, producción, logística y finanzas. El modelo matemático y el posterior simulador no apuntan a resolver problemas de nivel operativo o de ejecución de tareas.
- Baja complejidad del modelo: Si bien se espera que el modelo se acerque lo más posible a la realidad, se debe procurar manejar el menor número de variables a fin de mantener la complejidad al mínimo nivel posible.
- Fácil uso y manejo: Luego de construir el modelo matemático se procede al diseño e implementación del sistema de información (entradas, proceso, salidas e interfaces). Se espera que el sistema de información sea tal que permita una interacción fluida con el usuario y de fácil manipulación por cualquier desarrollador.
- Flexibilidad: El simulador debe ser implementado de tal manera que permita ajustes que satisfagan necesidades específicas de la empresa ABC.
- Portabilidad: Al ser una hoja de cálculo de Microsoft Excel, el simulador puede utilizarse en cualquier computadora que cuente con el entorno de Office.

2.4. Decisiones estratégicas de la empresa ABC

Dado que un simulador de empresa tiene como propósito apoyar y mejorar la toma de decisiones de la empresa ABC, es importante identificar cuáles son aquellas decisiones que influyen significativamente en el resultado del negocio.

Dadas las cuatro funciones mencionadas al inicio del capítulo (márketing, producción, logística y finanzas), se describe en la **tabla 2.1** las decisiones estratégicas más importantes por función:

Tabla 2.1. Decisiones estratégicas por función

Función	Decisión	Definición	Impacto
Márketing	Precio de venta	Monto al que se vende un producto en el mercado	Ventas e ingresos. Un precio muy por encima del precio de mercado disminuye las unidades vendidas pero eleva el margen y puede elevar los ingresos totales.
	Publicidad	Monto empleado para difundir un producto en el mercado	Ventas e ingresos. A mayor inversión en publicidad mayor probabilidad de vender más unidades.
Producción	Capacidad de producción	Número máximo de unidades que se pueden fabricar de un producto	Ventas, producción e inventarios. Las unidades producidas satisfacen la demanda de un producto y generan venta. Los productos no vendidos quedarán almacenados en la planta, generando costos de almacenamiento.
	Tiempo de funcionamiento de la planta	Número de horas operativas de la planta en un periodo	Ventas y producción. Se requiere el tiempo suficiente en planta para producir cierto número de unidades de producto. Las unidades producidas satisfacen la demanda y generan venta.
	Asignación de recursos a productos	¿Qué recursos estarán a cargo de la fabricación de cada producto?	Ventas y producción. Se requiere el tiempo suficiente en cada recurso para producir cierto número de unidades de producto y venderlas posteriormente.
Logística	Pedido de materias primas	Número de unidades de materia prima e insumos comprados	Ventas y producción. Se requiere La cantidad suficiente de materias primas para producir cierto número de unidades de producto y venderlas posteriormente.
Finanzas	Préstamo bancario	Monto entregado a la empresa de forma temporal y a un costo para hacer frente a sus obligaciones	Ventas, ingresos y gastos financieros. Los recursos financieros hacen posible el ciclo de negocio proveyendo efectivo. Sin el efectivo suficiente se limitan todas las funciones de la empresa.

Elaboración propia

El impacto de las decisiones descritas anteriormente depende de la configuración de la empresa ABC y su entorno. La **tabla 2.2** muestra para cada decisión estratégica, las variables más representativas que influyen en el impacto al negocio:

Tabla 2.2. Variables de incidencia al negocio de ABC por decisión estratégica

Decisión	Variable ext./conf.	Definición	Contribución en el impacto
Precio de venta	Precio de venta de competidores	Precios a los cuales las empresas que compiten con ABC venden sus productos	Los precios de los competidores determinan el precio de mercado, el cual marca la sensibilidad de la demanda a una variación del precio de venta.
Precio de venta	Variación del Producto Bruto Interno (Δ PBI)	Monto que representa la producción de bienes y servicios realizada por un país durante un periodo	Más que el número en sí, la variación del PBI refleja la situación económica y capacidad adquisitiva de una población, afectando directamente la demanda de productos.
Publicidad	Inversión en publicidad de competidores	Monto empleado por las empresas competidoras de ABC para difundir un producto en el mercado	Una mayor participación de la empresa en la inversión en publicidad del mercado eleva su probabilidad de generar mayor demanda de sus productos.
Decisiones de producción	Tiempo unitario de producto en un proceso	Cantidad de tiempo que demora agregar valor a un producto en cada proceso	El tiempo unitario determina la capacidad de producción de la planta, dado un horario de funcionamiento.
Decisiones de producción	Disponibilidad de recursos	Número de recursos habilitados en planta para llevar a cabo un proceso específico	Un número suficiente de recursos en cada proceso permitirá que se produzca las unidades de producto esperadas durante el periodo
Pedidos de materias primas	Requerimiento de materia prima por unidad de producto	Cantidad de materia prima requerida para fabricar una unidad de producto	La capacidad de producción queda determinada por el requerimiento de materia prima por unidad de producto, dado el número de unidades de materia prima disponible en planta.
Préstamo bancario	Costo unitario de producción	Monto promedio necesario para producir una unidad de producto en planta	El costo unitario de producción determina la cantidad de dinero necesaria para pagar los costos implicados en un plan de producción determinado.
Préstamo bancario	Flujo de caja inicial	Cantidad de efectivo con el que se cuenta al inicio de la gestión	Un mayor efectivo disponible al inicio de la gestión eleva la probabilidad de solicitar un monto menor de préstamo bancario.
Préstamo bancario	Tasas de interés	Costo del dinero prestado por los bancos	La tasa de interés determina cuánto se tendrá que pagar al banco por el préstamo recibido, generando un mayor o menor gasto financiero.

Elaboración propia

CAPÍTULO 3. PROPUESTA DE MEJORA

3.1. Descripción general de la propuesta de mejora

3.1.1. Concepto

La propuesta de mejora consiste en un simulador elaborado a la medida de la empresa ABC. De manera general, un simulador de empresa es un sistema de información en el que se ingresan decisiones a un modelo de empresa configurado, generando resultados que se reportan a través de indicadores de rendimiento y estados financieros (EEFF). Esto se muestra gráficamente en la **figura 3.1**:

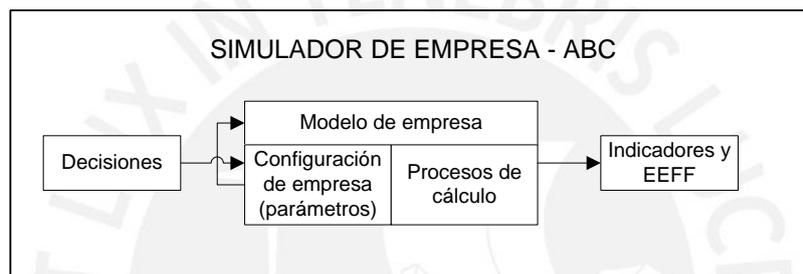


Figura 3.1. Concepto de simulador de empresa ABC

Elaboración propia

3.1.2. Enfoque

El simulador para la empresa ABC ha sido diseñado organizando el negocio dentro del marco de las cuatro funciones básicas establecidas en el primer capítulo: Marketing, Producción, Logística y Finanzas. Dentro de cada función se toma decisiones clave, se lleva a cabo procesos de negocio y se genera indicadores de rendimiento con efectos económicos que se reportan en los EEFF. Esto se muestra en la **figura 3.2**:

3.1.3. Etapas de desarrollo

El desarrollo del simulador de empresa consta de cinco etapas, las cuales se muestran en la **figura 3.3** y se describen en la **tabla 3.1**. Cada etapa implica la aplicación de herramientas que llevan a la obtención de un entregable, necesario para el desarrollo de la etapa siguiente o finalización del simulador.

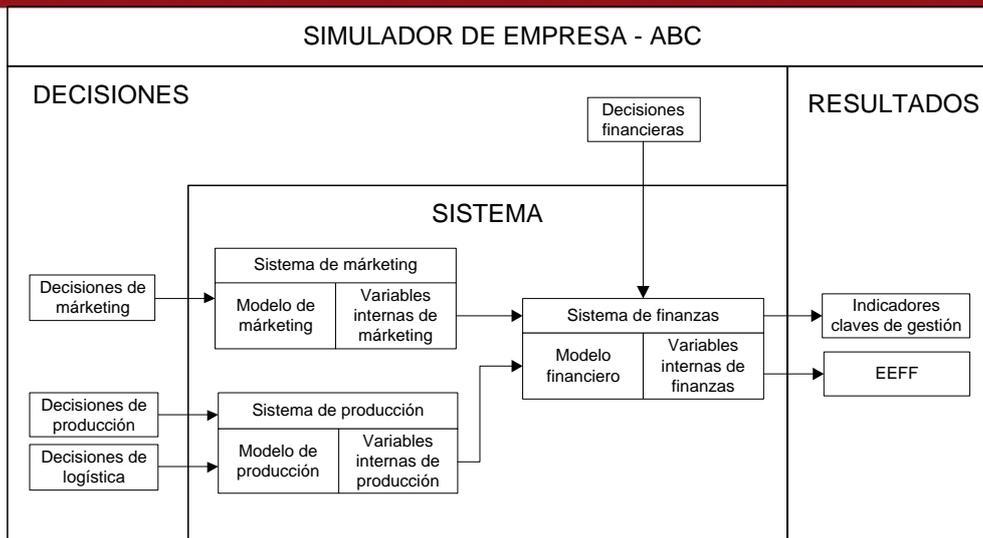


Figura 3.2. Enfoque de simulador de empresa ABC

Elaboración propia

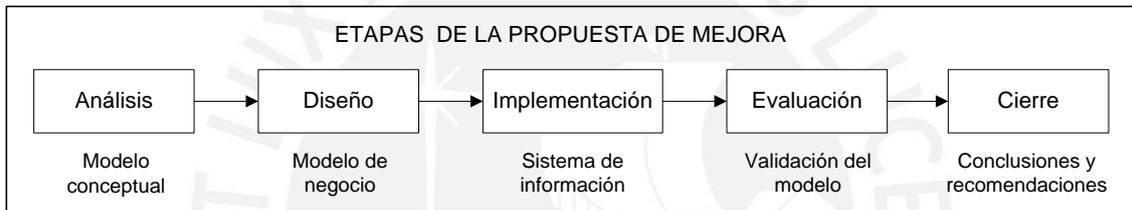


Figura 3.3. Etapas de desarrollo de simulador de empresa ABC

Elaboración propia

Tabla 3.1. Etapas de desarrollo de simulador de empresa ABC

Etapa	Descripción	Herramientas	Entregables
Análisis (RUP #1: Incepción)	Se conoce el funcionamiento de la pequeña empresa ABC y se identifica las decisiones y resultados que la gerencia considera críticas para el éxito del negocio.	Análisis de simuladores de empresa y juegos de negocios existentes. Análisis y planificación del alcance de modelos.	Modelo conceptual
Diseño (RUP #2: Elaboración)	Se genera la representación matemática de la empresa ABC a partir del modelo conceptual.	Análisis matemático Modelado matemático Programación lineal	Modelo de negocio
Implementación (RUP #3: Construcción)	Se lleva el modelo matemático a una plataforma dinámica de información para tener un flujo eficiente y ordenado de procesos, entradas y salidas que interactúe fácilmente con el usuario.	Análisis y diseño de sistemas Hojas de cálculo (Excel) Programación (VBA)	Sistema de información
Evaluación (RUP #4: Transición)	Se modela una pequeña empresa real y se simula diferentes escenarios para evaluar el impacto	Levantamiento de información Análisis de desviaciones	Validación del modelo Manual de usuario
Cierre (RUP #4: Transición)	Se concluye con respecto a la utilidad del modelo para la toma de decisiones en la empresa ABC	Análisis de contribución Identificación de oportunidades de mejora	Conclusiones y recomendaciones

Elaboración propia

3.1.3.1. Diseño

La etapa de diseño consiste en la generación de un modelo matemático a partir de los lineamientos del modelo conceptual. Un modelo matemático consta de cuatro elementos, los cuales se muestran gráficamente en la **figura 3.4.** y se describen a continuación:

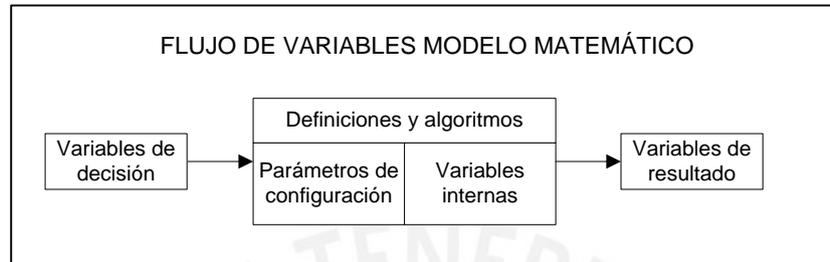


Figura 3.4. Elementos del modelo matemático
Elaboración propia

- Variables de decisión: Son los valores que ingresa el usuario representando las decisiones que tomó para el negocio.
- Parámetros de configuración: Son valores que caracterizan a la empresa ABC y su entorno.
- Definiciones y algoritmos: Son expresiones matemáticas (ecuaciones y programas lógicos) que definen las reglas de funcionamiento de la empresa ABC. Las variables de decisión y los parámetros de configuración interactúan dentro de las definiciones y algoritmos generando variables internas, denominadas así porque son productos en proceso del modelo y no son mostradas al usuario.
- Variables de resultado: Son las variables del modelo que se muestran al usuario y que se calculan a partir de la interacción de variables internas.

3.1.3.2. Implementación

La etapa de implementación consiste en la generación de un sistema de información a partir de los lineamientos del modelo matemático. Un sistema de información consta de tres elementos, los cuales se muestran gráficamente en la **figura 3.5** y se describen a continuación:

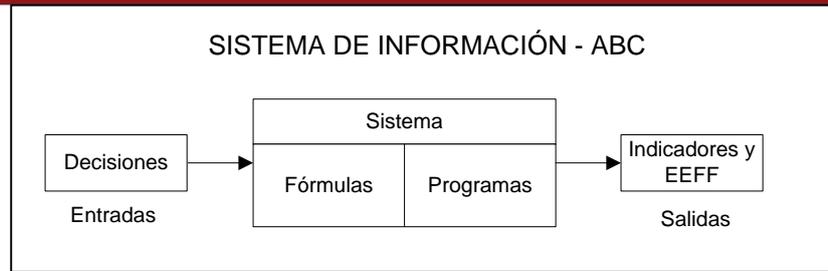


Figura 3.5. Elementos del sistema de información
Elaboración propia

- Entradas: Son los datos– decisiones y parámetros de configuración – que el usuario ingresa al sistema, además del evento que da inicio a la ejecución del proceso.
- Sistema: Es el conjunto de comandos informáticos – fórmulas y programas – que permiten la ejecución del modelo matemático y la generación de información.
- Salidas: Es la información que se muestra al usuario– indicadores y estados financieros – como resultado de las decisiones ingresadas y la configuración de la empresa.

El desarrollo del sistema de información consta de cinco etapas, las cuales se muestran en la **figura 3.6** y se describen en la **tabla 3.2**. Cada etapa implica la aplicación de herramientas que llevan a la obtención de un entregable, necesario para el desarrollo de la etapa siguiente o finalización del sistema.

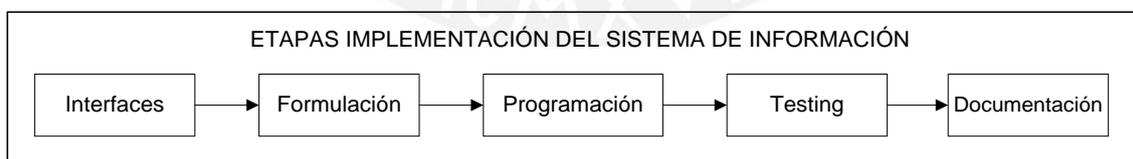


Figura 3.6. Etapas de implementación del sistema de información
Elaboración propia

Tabla 3.2. Etapas de implementación del sistema de información

Etapa	Descripción	Herramientas	Entregables
Interfaces	Es el conjunto de entornos visuales (ventanas) a través de las cuales el usuario y desarrollador tendrán interacción con el sistema de información.	Diseño de interfaces	Interfaces de entradas, configuración de empresa y salidas Hojas de procesos
Formulación	Se genera las expresiones matemáticas en la hoja de cálculo, según el contenido del modelo matemático.	Fórmulas en Excel	Hojas de procesos formuladas
Programación (solo versión 2)	Se elabora las estructuras algorítmicas que la formulación no puede cubrir.	Macros en Visual Basic Solver	Optimización automática con Solver Botones interactivos
Testing	Se realiza pruebas a todo el sistema para asegurar funcionalidad técnica y lógica.		Visto bueno al sistema
Documentación (solo versión 2)	Una vez que el sistema ha sido creado y probado y verificado, se procede al cierre y generación de documentos de diseño y uso del sistema.		Manual de usuario

Elaboración propia

3.1.4. Alcance de la propuesta de mejora

Dado que elaborar el simulador es un proceso muy complejo, se ha optado por empezar con un alcance muy pequeño y luego incrementarlo. Esto trae como consecuencia la existencia de dos versiones de simulador de empresa, denominados versión 1 y versión 2, que se muestran gráficamente en la **figura 3.7** y se comparan en la **tabla 3.3**.

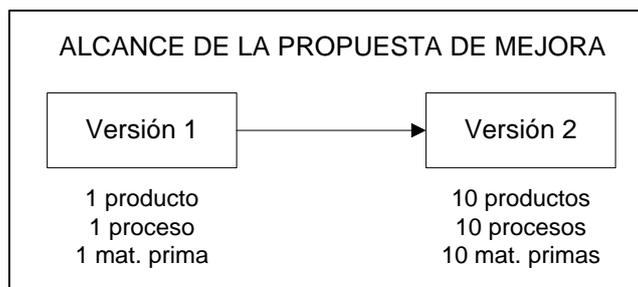


Figura 3.7. Alcance de la propuesta de mejora

Elaboración propia

Tabla 3.3. Comparación del alcance de la versión 1 y 2

	Versión 1	Versión 2
Productos	Único (1)	Diez (10)
Materias primas	Única (1)	Diez (10)
Procesos	Único (1)	Diez (10)
Recursos por proceso	Único (1)	Diez (10)
Horas disponibles en planta	Fijo para los 12 periodos	Fijo del periodo 1-6 y otro fijo para el 7-12
Costos fijos	Ninguno	Costo indirecto de fabricación Flete por envío de materias primas
Costeo de inventarios	No requiere	Método ponderado

Elaboración propia

Como consecuencia de un mayor número de productos, materias primas, procesos y recursos, en la versión 2 se incrementa el número de variables internas y atributos de configuración de la empresa, es decir, el sistema de información se vuelve más complejo. No obstante, es necesario resaltar que la versión puede ser mejorable para abarcar un mayor número de negocios que cumplan con la descripción general de la empresa ABC.

3.2. Modelo conceptual

Se define la pequeña empresa ABC como aquella que:

- Tiene entre 10 y 50 trabajadores
- Factura entre 151 y 850 UIT
- Se dirige a un único mercado
- Cuenta con una única instalación de producción
- Produce y comercializa de 1 a N productos
- Emplea de 1 a M materias primas
- Emplea de 1 a P procesos productivos
- Emplea de 1 a K recursos por proceso productivo

Los supuestos del modelo conceptual se listan a continuación en la **Tabla 3.4**. Cabe resaltar que a lo largo del desarrollo del simulador se expondrán más supuestos:

Tabla 3.4. Supuestos modelo conceptual

Función	Aspecto	Supuesto
Producción	Calendario	12 periodos de igual duración
Márketing	Facturación	Cerrado en el mismo periodo
Márketing	Demanda	Excluye efecto de pedidos parciales
Producción	Mermas y devoluciones	Excluye efecto
Producción	Fallas	Excluye efecto
Producción	Mantenimientos	Excluye efecto
Producción	Cuello de botella	Tiempos muertos no recuperables
Producción	Repetición de procesos	No compatible con modelo
Producción	Equipo por proceso	Producto admite un único equipo en cada proceso
Logística	Último abastecimiento	Periodo 0
Logística	Lead time	Conocido por la empresa
Logística	Costos logísticos	Estáticos
Finanzas	IGV	Excluye efecto
Finanzas	Inflación	Excluye efecto
Finanzas	Ajuste de decisiones	Excluye ajuste por falta de financiamiento
Finanzas	Sobregiros	Ilimitado

Elaboración propia

3.3. Modelo de negocio

3.3.1. Variables de decisión

Sea ABC una empresa que produce y comercializa n productos P_1, P_2, \dots, P_n a partir de m materias primas MP_1, MP_2, \dots, MP_m y p procesos $POC_1, POC_2, \dots, POC_p$ para obtener un rendimiento UN_T .

Sea X_i una variable de decisión tomada por la empresa en el periodo 0 de simulación, con efecto sobre 12 periodos de tamaño fijo. Cada variable decisión tiene una descripción, una unidad de medición y una restricción de valor. Esto se muestra en la **tabla 3.5**.

Tabla 3.5. Variables de decisión

Var	Descripción	Unidad de medición	Restricción
X_{1n}	Capacidad de producción de P_n por periodo	Unidades de P_n	$X_{1n} \geq 0$
X_{2n}	Precio de venta de P_n	Nuevos soles por unidad de P_n (S./u P_n)	$X_{2n} \geq 0$
X_3	Inversión en Publicidad	Nuevos soles (S/.)	$X_3 \in \mathbb{N}$
X_{4m}	Intervalo de abastecimiento de MP_m	Número de periodos (d)	$X_{4m} \in \mathbb{N}$
X_{5m}	Cantidad de MP_m pedida	Unidades de MP_m (u MP_m)	$X_{5m} \in \mathbb{Z}^+$
X_6	Horas hábiles de planta por periodo para los periodos 1 al 6	Horas por periodo (h/d)	$X_6 \in \mathbb{Z}^+$
X_7	Horas hábiles de planta por periodo para los periodos 7 al 12	Horas por periodo (h/d)	$X_7 \in \mathbb{Z}^+$
X_9	Préstamo único	Nuevos soles (S/.)	$X_9 \geq 0$

Elaboración propia

3.3.2. Parámetros de configuración

Sea AR el conjunto formado por los elementos AR_j ($j=1,2,\dots,5$), donde AR_j es un área funcional de la empresa. Para cada AR_j existe una descripción y un conjunto de variables de decisiones asignadas X_i tal que $X_i \in AR_j$. Esto se muestra en la **tabla 3.6**.

Tabla 3.6. Áreas funcionales y variables de decisión asignadas

Área	Descripción	Variables de decisión asignadas
AR ₁	Márketing	$X_{2n}, X_3 \in AR_1$
AR ₂	Producción	$X_{1n}, X_6, X_7, X_8 \in AR_2$
AR ₃	Logística	$X_{4m}, X_{5m} \in AR_3$
AR ₄	Finanzas	$X_9 \in AR_4$

Elaboración propia

Sea L_k un parámetro constante tal que $L_k \in AR_j$ y que afecta el rendimiento U , es decir, existe una función f tal que $f(L_k) = U$. Para L_k existe una descripción, una unidad de medición y una restricción de valor. Esto se muestra en las **tablas 3.7.A y 3.7.B**.

Tabla 3.7.A. Parámetros de configuración

AR _j	Par.	Descripción	Unidad de medición	Restricción
AR ₁	H	Escenario de simulación	Tres valores: 1=Optimista, 2=Normal, 3=Pesimista	$H=1, 2 \vee 3$
AR ₁	ΔPBI_H	Variación acumulada del PBI por escenario (según valores de H)	Porcentaje (%)	$\Delta PBI_H \in [0, 1]$
AR ₁	YZ_H	Índice de sensibilidad del escenario (según valores de H)	Porcentaje (%)	$YZ_H \geq 0$
AR ₁	$P_n V_{MK}$	Precio de venta promedio de P_n de competidores	Nuevos soles por unidad de P_n (S./u P_n)	$P_n V_{MK} \geq 0$
AR ₁	μ_n	Demanda promedio del mercado del producto P_n	Unidades de P_n	$\mu_n \in Z^+$
AR ₁	PA_{MK}	Gasto de publicidad promedio de competidores	Nuevos soles (S./.)	$PA_{MK} \geq 0$
AR ₁	σ_n	Desviación estándar promedio de la demanda del mercado del producto P_n	Unidades de P_n	$\sigma_n \in Z^+$
AR ₁	ZPBI	Tasa de sensibilidad de las ventas por variación del PBI	Porcentaje (%)	$ZPBI \geq 0$
AR ₁	$ZP_n V$	Tasa de sensibilidad por variación del precio de P_n	Porcentaje (%)	$ZP_n V \geq 0$
AR ₁	ZPA	Tasa de sensibilidad por variación en inv. publicidad	Porcentaje (%)	$ZPA \geq 0$
AR ₂	TE_{pn}	Tiempo estándar de P_n en proceso POC_p	Minutos por unidad de P_n (min/u P_n)	$TE_{pn} \geq 0$
AR ₂	ER_{pk}	Existencia del recurso número k del proceso POC_p	Dos valores: 0=Recurso no existe 1=Recurso existe	$ER_{pk} = 0 \vee 1$
AR ₂	EF_{pk}	Eficiencia del recurso número k del proceso POC_p	Porcentaje (%)	$EF_{pk} \in [0, 1]$
AR ₂	CO_u	Costo unitario de mano de obra directa	Nuevos soles por hora-hombre (S./HH)	$CO_u \geq 0$
AR ₂	CIF_{F_u}	Costo indirecto de fabricación fijo	Nuevos soles por recurso activo (S./REC)	$CIF_{F_u} \geq 0$

Tabla 3.7.B. Parámetros de configuración

AR ₂	CIFV _u	Costo unitario indirecto de fabricación variable	Nuevos soles por hora-hombre (S./HH)	CIFV _u ≥ 0
AR ₃	K _{mn}	Número de unidades de MP _m necesarias para producir una unidad de P _n	Un. MP _m por un. P _n (uMP _m /uP _n)	K _{mn} ≥ 0
AR ₃	MP _{mu}	Costo por unidad de materia prima MP _m	Nuevos soles por un. MP ₁	MP _{mu} ≥ 0
AR ₃	MP _{mf}	Costo de flete de proveedor de materia prima MP _m	Nuevos soles por entrega de MP _m	MP _{mf} ≥ 0
AR ₃	MP _{mII1}	Inventario inicial de MP _m en periodo 1	Unidades de MP _m	MP _{mII1} ≥ 0
AR ₃	MP _{mSu}	Costo de almacenamiento por unidad de materia prima MP _m	Nuevos soles por unidad almacenada de MP _m	MP _{mSu} ≥ 0
AR ₃	P _{nII1}	Inventario inicial de P _n en periodo 1	Unidades de P _n	P _{nII1} ≥ 0
AR ₃	P _{nSu}	Costo de almacenamiento por unidad de producto P _n	Nuevos soles por unidad almacenada de P _n	P _{nSu} ≥ 0
AR ₄	COI ₀	Caja operativa inicial en periodo 0	Nuevos soles (S./.)	COI ₀ ≥ 0
AR ₄	i _p	Tasa efectiva de interés sobre préstamos por periodo	Porcentaje (%)	i _p ∈ [0,1]
AR ₄	i _s	Tasa efectiva de interés sobre sobregiros por periodo	Porcentaje (%)	i _s ∈ [0,1]
AR ₅	GA ₀	Gastos administrativos en periodo 0	Nuevos soles (S./.)	GA ₀ ≥ 0
AR ₅	M	Tasa impositiva tributaria	Porcentaje (%)	M ∈ [0,1]

Elaboración propia

3.3.3. Definiciones y algoritmos

A- Variación de la demanda debido a decisiones y factores externos

La demanda de P_n es sensible a la variación del precio de venta, variación de la inversión en publicidad y variación del PBI. Dado que en el modelo, (1) los precios de venta, inversión en publicidad y variación del PBI permanecen constantes en toda la simulación y (2) la demanda de cada producto sigue una distribución normal con media μ_n y desviación estándar σ_n, se afectará la media μ_n y desviación estándar σ_n de cada producto P_n antes de simular las demandas en cada periodo t.

Por lo tanto, la media ajustada de la demanda por efectos externos se define como: μ_n = μ_n. (1 + ΔPBI.ZPBI + (X_{2n}-P_nV_{MK}).YZ_H.ZP_nV + (X₃-PA_{MK}).ZPA), donde ΔPBI_H representa la variación del PBI según el escenario de la simulación (1=optimista, 2=normal, 3=pesimista) y (X_{2n}-P_nV_{MK}) y (X₃-PA_{MK}) representan respectivamente la variación del precio de venta de cada producto P_n respecto al precio promedio de los competidores y la variación de la inversión en publicidad respecto a la inversión promedio de los competidores. El impacto de las variaciones está dado por las tasas de sensibilidad ZPBI, ZP_nV y ZPA debido al PBI, precio de venta de cada P_n e

inversión en publicidad respectivamente. El parámetro YZ_H representa la tasa de sensibilidad del escenario de la simulación. Dado un escenario optimista $H=1$ y un escenario pesimista $H=3$, se espera que $YZ_1 < YZ_3$ ya que el mercado es menos reactivo cuando la coyuntura es favorable.

La desviación estándar ajustada de la demanda de cada P_n por efectos externos se define como $\sigma_n = \sigma_n \cdot YZ_H \cdot (1 - \Delta PBI.ZPBI)$. Para este modelo se asume que la desviación estándar solo se verá afectada por el escenario y variación del PBI.

Tabla 3.8. Ajuste de la media de demanda por producto

		P_1	P_2	P_3	...	P_n	
	Demanda promedio del mercado por producto P_n	615	850	500	400	475	uP_n
	Efecto por variación del precio de venta	-29	27	117	-111	-80	uP_n
	Efecto por variación de inversión en publicidad	-40	-55	-32	-26	-31	uP_n
	Efecto por variación del PBI	24	34	20	16	19	uP_n
μ_n	Demanda promedio final del mercado por producto P_n	570	856	605	279	383	uP_n
	Desviación estándar promedio del mercado por producto P_n	20	20	30	20	40	uP_n
σ_n	Desviación estándar promedio del mercado por producto P_n	16	16	24	16	33	uP_n

Elaboración propia

B- Simulación de la demanda por producto P_n en cada periodo t

Sea $P_n X_t$ ($t=1,2,\dots,12$) una variable aleatoria que representa la demanda de P_n en un periodo t , con función de distribución normal con media μ_n y desviación estándar σ_n , es decir, $P_n X_t \sim N(\mu_n, \sigma_n)$.

Sea U_{nt} un número real con distribución $U(0,1)$. Aplicando el método de transformada inversa, se tendrá para cada instante t y cada producto P_n un $P_n D_t$ tal que $P(P_n X_t \leq P_n D_t) = U_{nt}$. Por lo tanto, cada $P_n D_t$ representa la demanda simulada del producto P_n para cada instante t .

Tabla 3.9. Demanda por producto

t	U_{1t}	U_{2t}	U_{3t}	...	U_{nt}	$P_1 D_t$	$P_2 D_t$	$P_3 D_t$...	$P_n D_t$
1	0.706	0.533	0.580		0.302	578	857	609		270
2	0.775	0.014	0.761		0.709	582	820	622		293
3	0.045	0.414	0.863		0.374	542	852	631		291
4	0.962	0.871	0.056		0.364	598	874	566		305
5	0.525	0.767	0.054		0.469	570	867	566		282
6	0.298	0.623	0.648		0.279	561	861	614		268
7	0.830	0.825	0.589		0.911	585	870	610		314
8	0.227	0.695	0.980		0.534	558	864	654		267
9	0.106	0.999	0.676		0.575	550	907	615		244
10	0.100	0.103	0.799		0.046	549	835	625		269
11	0.296	0.382	0.301		0.980	561	851	592		305
12	0.401	0.278	0.160		0.647	566	846	581		263

Elaboración propia

C- Materias primas

Para producir una unidad de P_n se requiere K_{mn} unidades de MP_m , las cuales deberán estar disponibles en el almacén de MP_m . Esto se muestra gráficamente en la **tabla 3.10**:

Tabla 3.10. Requerimiento de materias primas por producto

	n=1	n=2	n=3	n=4	...	n
m=1	0.8	0.3	0.1		0.2	0.2
m=2		0.5		1.1		
m=3		0.2	0.9		0.3	0.3
m=4	0.3			2.4	0.2	0.2
m=5	0.8	0.3	0.1		0.2	0.2
m=6		0.5		1.1		
m=7		0.2	0.9		0.3	0.3
...	0.3			2.4	0.2	0.2
m		1.1		1.7		

Elaboración propia

Si $P_n E_t$ el número de unidades de P_n producidas en planta en un periodo t y $MP_m N_{nt}$ el número de unidades de MP_m utilizadas para la producción de P_n en un periodo t , entonces se cumple que $MP_m N_{nt} = K_{mn} \cdot P_n E_t$. Además, si $MP_m N_t$ es el número de total de unidades de MP_m utilizadas en un periodo t se cumple que:

$$1) MP_m N_t = \sum_n MP_m N_{nt}$$

$$2) \sum_n MP_m N_{nt} = MP_m N_{1t} + MP_m N_{2t} + MP_m N_{3t} + MP_m N_{4t} + \dots + MP_m N_{nt}$$

$$3) \sum_n MP_m N_{nt} = K_{m1} \cdot P_1 E_t + K_{m2} \cdot P_2 E_t + K_{m3} \cdot P_3 E_t + K_{m4} \cdot P_4 E_t + \dots + K_{mn} \cdot P_n E_t$$

Tanto las unidades de P_n como las unidades de MP_m ingresan y salen de un almacén de MP_m y P_n respectivamente. El flujo de MP_m y P_n se muestra en la **figura 3.8** a continuación.

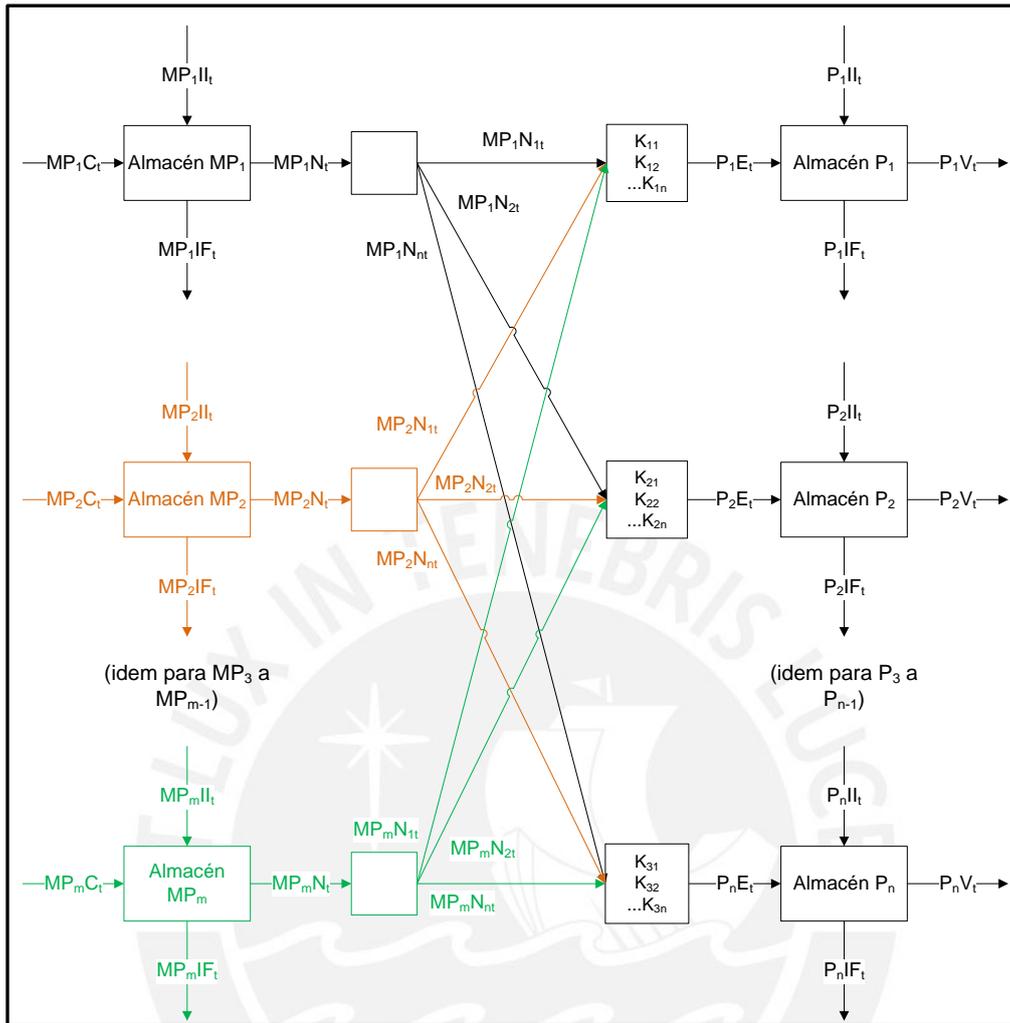


Figura 3.8. Flujo de unidades de MP_m y P_n en planta ABC

Elaboración propia

Para cualquier periodo t , se tiene la siguiente ecuación de balance en el almacén MP_m :
 $MP_m I_t + MP_m C_t = MP_m N_t + MP_m IF_t$, donde:

- $MP_m I_t$ es el número de unidades de MP_m disponibles en almacén al inicio del periodo t , que a su vez es igual al número de unidades de MP_m que quedaron al final del periodo anterior $t-1$, es decir, $MP_m I_t = MP_m IF_{t-1}$.
- $MP_m C_t$ es el número de unidades de MP_m compradas que ingresan al almacén al inicio del periodo t . Esta variable está definida en función del intervalo de abastecimiento de MP_m (X_{4m}) y la cantidad de MP_m pedida (X_{5m}) según la ecuación: $MP_m C_t = X_{5m} \leftrightarrow t = X_{4m} \cdot W, W = 1, 2, \dots, \text{Entero}(n/X_{4m})$.
- $MP_m N_t$ es el número total de unidades de MP_m enviadas para obtener una producción de $P_n E_t$ en el periodo t , es decir, $MP_m N_t = \sum_n MP_m N_{nt}$

- $MP_m I F_t$ es el número de unidades de MP_m disponibles en almacén al final del ciclo de negocio del periodo t .

Dado que la disponibilidad de materias primas es una restricción es una restricción para la producción de P_n , se tiene entonces que todo $\sum_m MP_m N_t \leq MP_m I I_t + MP_m C_t$

D- Procesos y recursos productivos

Para producir una unidad de P_n se requiere la ejecución de procesos productivos dados por las matrices $TP_p = [TE_{p1}, TE_{p2}, TE_{p3}, TE_{p4}, \dots, TE_{pn}]$, donde TE_{pn} (min/un. P_n) es el tiempo estándar necesario en el proceso POC_p para producir el producto P_n . Esto se representada en la **tabla 3.11**. Cuando un proceso productivo no aplica para la fabricación de un producto se tiene $TE_{pn}=0$. Por limitaciones del modelo, un proceso POC_p solo puede ser ejecutado una sola vez para el mismo producto, es decir, el modelo excluye los productos que deben pasar más de una vez por el mismo proceso.

Tabla 3.11. Tiempos estándar de productos por proceso

TE_{pn}	$n=1$	$n=2$	$n=3$...	n
$p=1$	0.6		0.8		
$p=2$	0.4	0.5			1.8
$p=3$		1.4	2.7	3.2	
$p=4$	0.3	0.7		0.5	1.6
$p=5$	1.6			3.8	2.4
$p=6$	0.6		0.8		
$p=7$	0.4	0.5			1.8
$p=8$		1.4	2.7	3.2	
...	0.3	0.7		0.5	1.6
p	1.6			3.8	2.4

Elaboración propia

Para llevar a cabo cada proceso POC_p se requiere recursos de producción (operarios o máquinas). El modelo contempla hasta k unidades de recurso por proceso. La existencia de recursos de la empresa ABC estará definida por las matrices $\{1 \times K\}$ $ER_p = [ER_{p1}, ER_{p2}, ER_{p3}, ER_{p4}, ER_{p5}, ER_{p6}, ER_{p7}, \dots, ER_{pk}]$ donde ER_{pk} es un dato booleano (0 ó 1) que indica si existe el recurso número k para ejecutar el proceso POC_p . Cuando el recurso existe $ER_{pk} = 1$ y cuando no existe $ER_{pk} = 0$. Esto se representa en la **tabla 3.12**.

Tabla 3.12. Existencia de recursos de producción

ER_{pk}	k=1	k=2	k=3	...	k
p=1	1	1	0	0	0
p=2	1	0	0	0	0
p=3	1	1	1	0	0
p=4	1	0	0	0	0
p=5	1	1	0	0	0
p=6	1	1	0	0	0
p=7	1	0	0	0	0
p=8	1	1	1	0	0
...	1	0	0	0	0
p	1	1	0	0	0

Elaboración propia

Si existe un recurso necesariamente existe una eficiencia EF_{pk} asignada a la misma. Por lo tanto, la existencia de recursos también se encuentra definida por las matrices $1 \times k$ $EF_p = [EF_{p1}, EF_{p2}, EF_{p3}, EF_{p4}, EF_{p5}, EF_{p6}, EF_{p7}, \dots, EF_{pk}]$. Si no se conoce la eficiencia de los recursos el valor de cada celda de la matriz es 100%. Para los recursos que no existen, no se tiene ratio de eficiencia. Esto se muestra en la **tabla 3.13**.

Tabla 3.13. Eficiencia de recursos de producción existentes

ER_{pk}	k=1	k=2	k=3	k=4	k
p=1	98%	56%			
p=2	98%				
p=3	98%	56%	62%		
p=4	98%				
p=5	98%	56%			
p=6	98%	56%			
p=7	98%				
p=8	98%	56%	62%		
...	98%				
p	98%	56%			

Elaboración propia

Si bien existe un tiempo estándar por proceso para cada producto, la cantidad de unidades de P_n producibles estará condicionada por el tiempo estándar del proceso más largo, llamado también cuello de botella. Asumiendo que: (1) los recursos de todos los procesos fabrican el mismo producto hasta acabar la producción asignada (no se intercala), y (2) los tiempos muertos no son aprovechables, se tiene que el tiempo consumido para fabricar una unidad de P_n será en todos los recursos el cuello de botella CB_n . El valor de CB_n es el tiempo estándar del proceso más largo, el cual

estaría definido para cada P_n como $CB_n = \text{MAX} \{TE_{1n}, TE_{2n}, TE_{3n}, TE_{4n}, TE_{5n}, TE_{6n}, TE_{7n}, \dots, TE_{pn}\}$. Por lo tanto, la nueva matriz de tiempos estándar (partiendo de la matriz de tiempos inicial) se muestra en la **tabla 3.14** a continuación:

Tabla 3.14. Cuellos de botella por producto

TE_{pn}	n=1	n=2	n=3	...	n
p=1	1.6		2.7		
p=2	1.6	1.4			2.4
p=3		1.4	2.7	3.8	
p=4	1.6	1.4		3.8	2.4
p=5	1.6			3.8	2.4
p=6	1.6		2.7		
p=7	1.6	1.4			2.4
p=8		1.4	2.7	3.8	
...	1.6	1.4		3.8	2.4
p	1.6			3.8	2.4

Elaboración propia

El tiempo consumido en cada recurso k de un proceso POC_p para fabricar una unidad del producto P_n , expresado también como $B_{pk}P_n$, estaría definido finalmente como: $B_{pk}P_n = 1/EF_{pk} \cdot ER_{pk} \cdot CB_n$. Por lo tanto, el tiempo total consumido por cada proceso POC_p en cada periodo t sería igual a $B_pP_t = \sum_n M.A._k(B_{pk}P_n) \cdot P_n E_t$, donde M.A. es la media armónica. Se tendría p restricciones.

El tiempo disponible de todos los recursos de producción en cada periodo t es igual a la duración del periodo t , es decir, X_6 (convertido a minutos) para los periodos 1 al 6 y X_7 para los periodos 7 al 12. El modelo excluye fallas en los recursos, paradas de producción y cualquier incidencia que impida que los recursos funcionen durante la totalidad del periodo t . Dado que esta duración es una restricción para la producción de P_n , se tiene entonces que todo $B_pP_t \leq 60.k.X_6, t \in [1,6]$ o $B_pP_t \leq 60.k.X_7, t \in [7,12]$

E- Mezcla de producción

Una unidad de P_n es producible en un periodo t si:

- P_n será comercializado, es decir, tiene un precio de venta asignado.
- Existen suficientes unidades de cada MP_m disponibles en almacén.
- Existe el tiempo suficiente en cada recurso de producción asignado para la fabricación de P_n .
- Se cumple con la capacidad de producción de P_n establecida por el usuario.

Si se tiene un producto P_n y otros P_{n+k} pero solo es factible producir uno de ellos, entonces se producirá aquel que genere el mayor ingreso a la empresa (asumiendo que el producto producido se vende de todas maneras). En otras palabras, la decisión de las unidades de P_n a producir en cada periodo t se tomará en un marco de maximización de ingresos bajo ciertas restricciones, es decir, bajo un modelo de programación lineal.

Bajo esta lógica el ingreso potencial por la venta de productos sería la función objetivo, mientras que las materias primas, tiempo disponible por cada recurso y la capacidad de producción son restricciones del modelo. El modelo asume que la empresa encontrará la manera de hacer frente a los costos de conversión de lo que vaya a producir, por lo que excluye restricciones por disponibilidad recursos financieros.

En consecuencia, se tiene el siguiente modelo de programación lineal para decidir de manera óptima la mezcla de producción más óptima por cada periodo t ($P_1E_t, P_2E_t, \dots, P_nE_t$).

Variables de decisión:

P_nE_t : Unidades a producir del producto P_n en el periodo t ($t=1,2,\dots,12$)

Modelo de programación lineal:

$$\text{Max } RV_t = \sum_n X_{2n} \cdot P_n E_t$$

s.a.

Disponibilidad de materias primas

$$(1) \sum_n K_{1n} \cdot P_n E_t \leq MP_1 I_t + MP_1 C_t \text{ (disp. } MP_1)$$

$$(2) \sum_n K_{2n} \cdot P_n E_t \leq MP_2 I_t + MP_2 C_t \text{ (disp. } MP_2)$$

$$(3) \sum_n K_{3n} \cdot P_n E_t \leq MP_3 I_t + MP_3 C_t \text{ (disp. } MP_3)$$

(...)

$$(m-1) \sum_n K_{m-1n} \cdot P_n E_t \leq MP_{m-1} I_t + MP_{m-1} C_t \text{ (disp. } MP_{m-1})$$

$$(m) \sum_n K_{mn} \cdot P_n E_t \leq MP_m I_t + MP_m C_t \text{ (disp. } MP_m)$$

Disponibilidad de tiempo por proceso productivo

$$(1) B_1 P_t = \sum_n M.A.(B_{1k} P_n) \cdot P_n E_t \leq 60 \cdot \text{MAX}(k) \cdot X_6; t \in [1, 6] \text{ (disp. } POC_1 \text{ en periodos 1-6)}$$

$$(2) B_1 P_t = \sum_n M.A.(B_{1k} P_n) \cdot P_n E_t \leq 60 \cdot \text{MAX}(k) \cdot X_7; t \in [7, 12] \text{ (disp. } POC_1 \text{ en periodos 7-12)}$$

$$(3) B_2 P_t = \sum_n M.A.(B_{2k} P_n) \cdot P_n E_t \leq 60 \cdot \text{MAX}(k) \cdot X_6; t \in [1, 6] \text{ (disp. } POC_2 \text{ en periodos 1-6)}$$

$$(4) B_2 P_t = \sum_n M.A.(B_{2k} P_n) \cdot P_n E_t \leq 60 \cdot \text{MAX}(k) \cdot X_7; t \in [7, 12] \text{ (disp. } POC_2 \text{ en periodos 7-12)}$$

$$(5) B_3 P_t = \sum_n M.A.(B_{3k} P_n) \cdot P_n E_t \leq 60 \cdot \text{MAX}(k) \cdot X_6; t \in [1, 6] \text{ (disp. } POC_3 \text{ en periodos 1-6)}$$

$$(6) B_3P_t = \sum_n M.A.(B_{3k}P_n).P_nE_t \leq 60.MAX(k).X_7; t \in [7, 12] \text{ (disp. } POC_3 \text{ en periodos 7-12)}$$

(...)

$$(2(p-1)-1) B_{p-1}P_t = \sum_n M.A.(B_{p-1k}P_n).P_nE_t \leq 60.MAX(k).X_6; t \in [1, 6] \text{ (disp. } POC_{p-1} \text{ en periodos 1-6)}$$

$$(2(p-1)) B_{p-1}P_t = \sum_n M.A.(B_{p-1k}P_n).P_nE_t \leq 60.MAX(k).X_7; t \in [7, 12] \text{ (disp. } POC_{p-1} \text{ en periodos 7-12)}$$

$$(2p-1) B_pP_t = \sum_n M.A.(B_{pk}P_n).P_nE_t \leq 60.MAX(k).X_6; t \in [1, 6] \text{ (disp. } POC_p \text{ en periodos 1-6)}$$

$$(2p) B_pP_t = \sum_n M.A.(B_{pk}P_n).P_nE_t \leq 60.MAX(k).X_7; t \in [7, 12] \text{ (disp. } POC_p \text{ en periodos 7-12)}$$

Disponibilidad de tiempo por proceso productivo

$$(1) 0 \leq P_1E_t \leq X_{11} \text{ (capacidad de producción } P_1)$$

$$(2) 0 \leq P_2E_t \leq X_{12} \text{ (capacidad de producción } P_2)$$

$$(3) 0 \leq P_3E_t \leq X_{13} \text{ (capacidad de producción } P_3)$$

(...)

$$(n-1) 0 \leq P_{n-1}E_t \leq X_{1n-1} \text{ (capacidad de producción } P_{n-1})$$

$$(n) 0 \leq P_nE_t \leq X_{1n} \text{ (capacidad de producción } P_n)$$

Total restricciones: $m + n + 2p$

F- Tiempo consumido en los recursos de producción

Dada la decisión de mezcla de producción en un periodo t:

- El tiempo total utilizado en un proceso p para producir cada P_nE_t es igual a $R_pP_nE_t = M.A._k(B_{pk}P_n). P_nE_t$.
- El tiempo empleado en todos los recursos para la producción de cada P_nE_t es igual a $RP_nE_t = \sum_{n,p} M.A._k(B_{pk}P_n). P_nE_t$
- El tiempo total empleado se define como $RP_t = \sum_n RP_nE_t$
- El nivel de utilización total de los recursos de un proceso se define como $R_pC_t = \sum_k R_{pk}PE_t / (60.X_6. \sum A(\sum B_{pk}P_n. P_nE_t))$ cuando $t = [1,6]$ y $R_pC_t = \sum_k R_{pk}PE_t / (60.X_7. \sum A(\sum B_{pk}P_n. P_nE_t))$ cuando $t = [7,12]$, donde $A(\sum B_{pk}P_n. P_nE_t)$ es un indicador booleano de activación de recurso (si el recurso fue utilizado el valor es 1, de lo contrario es 0).

G- Productos

Para cualquier periodo t, se tiene la siguiente ecuación de balance en el almacén P_n :

$$P_nI_t + P_nE_t = P_nV_t + P_nIF_t, \text{ donde:}$$

- $P_n I_t$ es el número de unidades de P_n disponibles en almacén al inicio del periodo t , que a su vez es igual al número de unidades de P_n que quedaron al final del periodo anterior $t-1$, es decir, $P_n I_t = P_n I_{t-1}$.
- $P_n E_t$ es el número de unidades de P_n producidas en la planta en el periodo t , compuesta por la mezcla de producción que maximiza los ingresos satisfaciendo las restricciones de materia prima, disponibilidad de recursos y decisión de capacidad de producción.
- $P_n V_t$ es el número de unidades de P_n vendidas para satisfacer la demanda del periodo t , por lo tanto, $P_n V_t = \text{MIN} \{P_n D_t, P_n I_t + P_n E_t\}$.
- $P_n I_{t+1}$ es el número de unidades de P_n disponibles en almacén al final del ciclo de negocio del periodo t .

H- Costos

H.1- Materias primas (producción e inventario final)

Al igual que el balance de inventarios a nivel de unidades de materia prima, se debe tener el balance de inventarios a nivel de costo. Por lo tanto, se tiene la siguiente ecuación: $\text{CMP}_m I_t + \text{CMP}_m C_t = \text{CMP}_m N_t + \text{CMP}_m I_{t+1}$, donde:

- $\text{CMP}_m I_t$ es el costo de las unidades de MP_m disponibles en almacén al inicio del periodo t , que a su vez es igual al costo de las unidades de MP_m que quedaron al final del periodo anterior $t-1$, es decir, $\text{CMP}_m I_t = \text{CMP}_m I_{t-1}$.
- $\text{CMP}_m C_t$ es costo de las unidades de MP_m compradas que ingresan al almacén en el periodo t más el costo de transporte. Esta variable se define como $\text{CMP}_m C_t = MP_{mu} \cdot MP_m C_t + MP_{mf} \cdot B(MP_m C_t)$. El indicador $B(MP_m C_t)$ es 0 si $MP_m C_t = 0$ y 1 si $MP_m C_t \neq 0$, ya que el costo de materia prima es 0 cuando no hay compras y si no hay compras no hay costo de transporte. El costo por compra de materias primas es $PC_t = \sum MP_{mu} \cdot MP_m C_t$.
- $\text{CMP}_m N_t$ es el costo de las unidades de MP_m enviadas para obtener una producción de $P_n E_t$ en el periodo t . Dado que el costo de materias primas tiene una componente fija, el costo se calcula bajo el método ponderado, definido en el siguiente cuadro:

Tabla 3.15. Costeo de materias primas

	Unidades	Costo
Inventario inicial	MP_{mI_t}	CMP_{mI_t}
Compras	MP_{mC_t}	CMP_{mC_t}
Producción	MP_{mN_t}	$MP_{mN_t} \cdot (CMP_{mI_t} + CMP_{mC_t}) / (MP_{mI_t} + MP_{mC_t})$
Inventario final	MP_{mF_t}	$MP_{mF_t} \cdot (CMP_{mI_t} + CMP_{mC_t}) / (MP_{mI_t} + MP_{mC_t})$

Elaboración propia

- CMP_{mF_t} es el costo de las unidades de MP_m disponibles en almacén al final del ciclo de negocio del periodo t. Es la diferencia entre el costo de MP_m para producción y suma del costo del inventario inicial y compra de MP_m .

H.2- Materias primas (por producto)

El costo de materias primas para la producción de P_n en cada periodo t se define como $P_n MP_t = \sum MP_{mu} \cdot MP_{mN_{nt}} + CMMP_n$, donde $CMMP_n$ es el costo fijo de materia prima por la producción de P_n (debido al transporte). Este se calcula a partir del costo por consumo de cada MP_m para la producción de las unidades de P_n , definido como $C_m MP_n = MP_{mf} \cdot MP_{mN_{nt}} / MP_{mN_t}$. Por lo tanto, $CMMP_n = \sum C_m MP_n$.

H.3- Mano de obra

El costo de mano de obra para la producción de P_n en cada periodo t se define como $P_n MO_t = CO_u \cdot RP_n E_t$, donde CO_u es el costo por hora-hombre empleada de un recurso de producción. El costo de mano de obra para toda la producción es igual a $MO_t = \sum RP_n E_t$.

H.4- Costo indirecto de fabricación

El costo indirecto de fabricación para la producción de P_n en cada periodo t se define como $P_n CI_t = CIF_u \cdot RP_n E_t + CIFFP_n$, donde CIF_u es el costo indirecto de fabricación por hora-hombre empleada de un recurso de producción. $CIFFP_n$ es el costo indirecto de fabricación fijo por la producción de P_n . Este costo se calcula a partir del costo indirecto de fabricación por la producción de cada P_n en cada proceso p, definido como $CIP_n B_{pk} = (B_{pk} P_n \cdot P_n E_t / \sum_k B_{pk} P_n \cdot P_n E_t) \cdot CIFF_u \cdot A(\sum_k B_{pk} P_n \cdot P_n E_t)$, donde $CIFF_u$ es el costo fijo indirecto por el uso de un recurso de producción, $A(\sum_k B_{pk} P_n \cdot P_n E_t)$ es un indicador booleano de activación de recurso (si el recurso fue utilizado el valor es 1, de lo contrario es 0) y $(B_{pk} P_n \cdot P_n E_t / \sum_k B_{pk} P_n \cdot P_n E_t)$ es la participación relativa del tiempo consumido del recurso por un producto P_n respecto al tiempo total empleado de dicho

recurso. Por lo tanto, $CIFFP_n = \sum_{p,k} CIP_n B_{pk}$. El costo indirecto de fabricación total en cada periodo t se define como $CI_t = \sum_n P_n CI_t$.

H.5- Costo de productos (ventas e inventario final)

Al igual que el balance de inventarios a nivel de unidades producto P_n , se debe tener el balance de inventarios a nivel de costo. Por lo tanto, se tiene la siguiente ecuación: $CP_n II_t + CP_n C_t = CP_n N_t + CP_n IF_t$, donde:

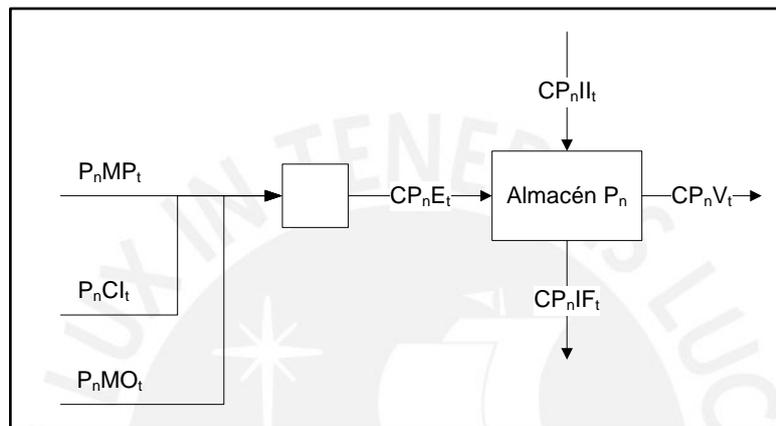


Figura 3.9. Costeo de productos
Elaboración propia

- $CP_n II_t$ es el costo de las unidades de P_n disponibles en almacén al inicio del periodo t , que a su vez es igual al costo de las unidades de P_n que quedaron al final del periodo anterior $t-1$, es decir, $CP_n II_t = CP_n IF_{t-1}$.
- $CP_n E_t$ es costo de las unidades de P_n producidas en el periodo t . Esta variable se define como $CP_n E_t = P_n MP_t + P_n Cl_t + P_n MO_t$.
- $CP_n V_t$ es el costo de las unidades de P_n vendidas en el periodo t , llamado también costo de ventas de P_n . Este se calcula bajo el método ponderado, que se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 3.16. Costeo de productos

	Unidades	Costo
Inventario inicial	$P_n II_t$	$CP_n II_t$
Producción	$P_n E_t$	$CP_n E_t$
Ventas	$P_n V_t$	$CP_n V_t = P_n V_t \cdot (CP_n II_t + CP_n E_t) / (P_n II_t + P_n E_t)$
Inventario final	$P_n IF_t$	$CP_n IF_t = P_n IF_t \cdot (CP_n II_t + CP_n E_t) / (P_n II_t + P_n E_t)$

Elaboración propia

- CP_nIF_t es el costo de las unidades de P_n disponibles en almacén al final del ciclo de negocio del periodo t . Es la diferencia entre el costo de P_n para producción y suma del costo del inventario inicial y producción de P_n .

I. Gastos

I.1- Gasto de almacenamiento

En cada periodo t se incurre en costos por almacenamiento de unidades de MP_m y P_n . El costo de almacenamiento de MP_m , MP_mS_t , está dado por la ecuación $MP_mS_t = MP_mS_u \cdot MP_mIF_t$, donde MP_mS_u es el costo de almacenamiento unitario de MP_m . De forma similar, el costo por almacenamiento de P_n , P_nS_t , está dado por la ecuación $P_nS_t = P_nS_u \cdot MP_nIF_t$, donde P_nS_u es el costo de almacenamiento unitario de P_n . El costo total de almacenamiento en cada periodo t estaría dado por la expresión: $CA_t = \sum_m MP_mS_t + \sum_n P_nS_t$

I.2- Gasto de ventas

El gasto de ventas en cada periodo t es constante e igual a la decisión de inversión en publicidad X_3 .

I.3- Gastos administrativos

El gasto administrativo en cada periodo t es igual a la suma de los gastos de administración (constante) y los gastos de almacenamiento (variable), es decir, $GA_t = GA_0 + CA_t$

J- Ventas y forma de pago

Las ventas en unidades monetarias de un periodo t se define como $RV_t = \sum_n X_{2n} \cdot P_nV_t$, donde X_{2n} es el precio de venta por unidad de P_n y P_nV_t es el número de unidades vendidas de P_n .

El modelo asume que todos los pagos por parte de los clientes son en efectivo. Por lo tanto, el ingreso corresponde al 100% de las ventas del periodo t , es decir, $IR_t = RV_t$, donde IR_t es el efectivo que ingresa en el periodo t (estado de flujo de efectivo) y RV_t es el total de las ventas realizadas en el periodo t .

K- Requerimiento de efectivo

Para que el ciclo de negocio tenga lugar en todo periodo t , se requiere efectivo para el pago de materias primas, mano de obra, costos indirectos de fabricación, gastos de publicidad, almacenamiento, de administración y el impuesto a la renta del periodo anterior ($t-1$). Este monto, denominado efectivo requerido en cada periodo t , se define como $CFR_t = PC_t + MO_t + CI_t + GV_t + GA_t + IR_{t-1}$.

L- Financiamiento

El modelo asume que la empresa siempre conseguirá los recursos financieros necesarios para operar en cada periodo t . Esto trae como consecuencia que el efectivo o presupuesto disponible no sea una restricción para la decisión de la mezcla de producción. La empresa cuenta con dos formas de financiamiento: préstamo y sobregiro bancario.

L.1- Préstamo bancario

El modelo permite que el usuario solicite un préstamo único al inicio de la simulación, el cual se solicita a través de la decisión X_9 . El monto se desembolsa al 100% en el primer periodo, por lo tanto $PRE_t = X_9 \leftrightarrow t=1$, $PRE_t = 0 \leftrightarrow t \neq 1$. Como se trata de un préstamo bancario, se genera un costo por el efectivo prestado – denominado IP_t – definido por la tasa de interés de préstamo, o i_p . El principal del préstamo se cancela en partes iguales a lo largo de los 12 periodos únicamente bajo la modalidad de amortizaciones homogéneas.

L.2- Sobregiros bancarios

Si la empresa no dispone del efectivo necesario para hacer frente a sus obligaciones en un periodo t , el modelo solicitará de manera automática un sobregiro bancario – denominado SG_t – a una tasa de interés de sobregiro i_s más cara que la tasa de interés de un préstamo. El modelo permite la acumulación ilimitada de sobregiros, lo cual puede conllevar al crecimiento de la deuda por la capitalización de los intereses en periodos sin pago de cuotas. El sobregiro y sus intereses – denominado IS_t – tienen prioridad de cancelación respecto al capital e intereses del préstamo bancario. A diferencia de un préstamo, el sobregiro debe ser pagado en su totalidad apenas se disponga del efectivo.

L.3- Cancelación de préstamos y sobregiros

Luego de obtenidos los ingresos, se cancela de forma automática y en estricto orden los intereses del sobregiro (IS_t), el capital del sobregiro (PS_t), los intereses del préstamo (IP_t) y la cuota del préstamo (PP_t). Si la empresa pudiese cancelar solo una parte de la cuota correspondiente en un periodo t , se recalculará la cuota e intereses a pagar en el periodo para igualar el efectivo disponible. El monto impago se añadirá al saldo deudor – en el caso de sobregiros en la variable RS_t y en el caso de préstamos RP_t – y será afecto a intereses en el periodo $t+1$. Los valores que toman las variables IS_t , PS_t , RS_t , IP_t , PP_t y RP_t según el efectivo disponible para pagar se muestran en el siguiente esquema:

Tabla 3.17. Dinámica de pagos y saldos deudores de préstamos y sobregiros

Variable	Caso	Expresión de caso	Valor final de variable
IS_t (intereses)	Pago total	$CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t \geq i_s \cdot (RS_{t-1} + SG_t)$	$IS_t = i_s \cdot (RS_{t-1} + SG_t)$
	Pago parcial	$0 < CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t < i_s \cdot (RS_{t-1} + SG_t)$	$IS_t = CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t$
	Pago nulo	$CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t \leq 0$	$IS_t = 0$
PS_t (capital)	Pago total	$CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t \geq RS_{t-1} + SG_t$	$PS_t = RS_{t-1} + SG_t$
	Pago parcial	$0 < CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t < RS_{t-1} + SG_t$	$PS_t = CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t$
	Pago nulo	$CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t \leq 0$	$PS_t = 0$
RS_t (saldo)	$RS_t = (RS_{t-1} + SG_t - PS_t) \cdot (1+i_s) + i_s \cdot (RS_{t-1} + SG_t) - IS_t$		
IP_t (intereses)	Pago total	$CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t - PS_t \geq i_p \cdot RP_{t-1}$	$IP_t = i_p \cdot RP_{t-1}$
	Pago parcial	$0 < CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t - PS_t < i_p \cdot RP_{t-1}$	$IP_t = CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t - PS_t$
	Pago nulo	$CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t - PS_t \leq 0$	$IP_t = 0$
PP_t (capital)	Pago total	$CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t - PS_t - IP_t \geq CAM_t$	$PP_t = CAM_t$
	Pago parcial	$0 < CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t - PS_t - IP_t < CAM_t$	$PP_t = CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t - PS_t - IP_t$
	Pago nulo	$CFI_t + PRE_t + SG_t + IN_t - CFR_t - IS_t - PS_t - IP_t \leq 0$	$PP_t = 0$
RP_t (saldo)	$RP_t = RP_{t-1} - PP_{t-1} + i_p \cdot RP_{t-1} - IP_t$		
CAM_t (cuota)	$CAM_t = PRE_t \cdot (n-t)/n - PRE_{t-1} \cdot (n-t+1)/n + RP_t - PRE_t \cdot (n+1-t)/n$		

Elaboración propia

L.4- Gastos financieros

Los gastos financieros en cada periodo t son la suma de todos los intereses pagados, es decir $GF_t = IS_t + IP_t$. Esta es una limitación del modelo ya que puede haber distorsión si es que por falta de efectivo los intereses no son pagados totalmente en los periodos correspondientes.

3.3.4. Variables de resultado

A partir de las variables de decisión, configuración de la empresa y las definiciones y algoritmos, la empresa genera dos outputs: Indicadores de gestión y estados financieros. Estas variables constituyen las herramientas de medición de performance de la empresa y permiten evaluar el impacto de las decisiones tomadas por el usuario. Se describen a continuación:

M- Estados financieros

El modelo genera dos estados financieros por periodo t : El estado de ganancias y pérdidas y el estado de flujo de efectivo. El primero sirve para medir la rentabilidad del negocio y el segundo para el nivel de liquidez.

Si bien se calcula ambos estados financieros para cada periodo t , el modelo solo muestra al usuario los estados financieros de la simulación, es decir, de la suma de todos los periodos t .

M.1- Estado de Ganancias y Pérdidas

A continuación se muestra una tabla con los rubros del estado de ganancias y pérdidas, la variable que representa a cada una de ellas y la ecuación de definición:

Tabla 3.18.A. Rubros del estado de ganancias y pérdidas

Rubro	Variable	Definición
Ventas	RV_t	$RV_t = \sum_n X_{2n} \cdot P_n V_t$
Costo de ventas	CV_t	$CV_t = \sum_n CP_n V_t$
Utilidad bruta	UB_t	$UB_t = RV_t - CV_t$
Gasto de ventas	GV_t	$GV_t = X_3$
Gastos administrativos	GA_t	$GA_t = GA_0 + CA_t$
Utilidad operativa	UO_t	$UO_t = UB_t - GV_t - GA_t$

Elaboración propia

Tabla 3.18.B. Rubros del estado de ganancias y pérdidas

Gastos financieros	GF_t	$GF_t = IS_t + IP_t$
Utilidad antes de Impuesto a la Renta	UAI_t	$UAI_t = UO_t - GF_t$
Impuesto a la Renta	IR_t	$IR_t = M \cdot UAI_t$
Utilidad Neta	UN_t	$UN_t = UAI_t - IR_t$

Elaboración propia

M.2- Estado de Flujo de Efectivo

A continuación se muestra una tabla con los rubros del estado de flujo de efectivo, la variable que representa a cada una de ellas y la ecuación de definición:

Tabla 3.19. Rubros del estado de flujo de efectivo

Rubro	Variable	Definición
Ingresos	IR_t	$IR_t = RV_t$
Gastos operativos	GO_t	$GO_t = PC_t + MO_t + Cl_t + GA_t + IR_{t-1}$
Flujo de caja operativo	FO_t	$FO_t = IR_t - GO_t$
Gastos financieros	GF_t	$GF_t = IS_t + IP_t$
Sobregiros recibidos	SG_t	
Préstamos recibidos	PRE_t	$PRE_t = X_9 \leftrightarrow t=1, PRE_t=0 \leftrightarrow t \neq 1$
Sobregiros cancelados	PS_t	
Préstamos cancelados	PP_t	
Flujo de caja financiero	FF_t	$FF_t = GF_t + SG_t + PRE_t + PS_t + PP_t$
Variación de flujo de efectivo	ΔCF_t	ΔCF_t
Efectivo inicial	CIF_t	$CIF_t = CFF_{t-1}$
Efectivo final	CFF_t	$CFF_t = CIF_t + \Delta CF_t$

Elaboración propia

N- Indicadores de gestión

Además de los estados financieros, el modelo entrega un resumen de indicadores claves de gestión (KPI) por área funcional. Se describen a continuación:

N.1- Márketing

Tabla 3.20. Indicadores claves de márketing

Rubro	Variable	Definición
Ingresos totales (por producto)	IN_{Tn}	$IN_{Tn} = \sum_t X_{2n} \cdot P_n V_t \ (t=1,2,\dots,12)$
Ventas totales (por producto)	RV_{Tn}	$RV_{Tn} = \sum_t P_n V_t \ (t=1,2,\dots,12)$
Demanda total (por producto)	DT_n	$DT_n = \sum_t P_n D_t \ (t=1,2,\dots,12)$
Ratio Venta/Demanda (por producto)	RV/D_n	$RV/D_n = \sum_t P_n V_t / \sum_n P_n D_t \ (t=1,2,\dots,12)$

Elaboración propia

N.2- Producción

Tabla 3.21. Indicadores claves de producción

Rubro	Variable	Definición
Unidades producidas	$P_n E_T$	$P_n E_T = \sum_t P_n E_t (t=1,2,\dots,12)$
Costo de producción unitario	$C_u P_n$	$C_u P_n = \sum_t C P_n E_t / \sum_n P_n E_t (t=1,2,\dots,12)$
Utilización de recursos	$R_p C_T$	$R_p C_T = \sum_t R_p C_t / 12 (t=1,2,\dots,12)$

Elaboración propia

N.3- Logística

Tabla 3.22. Indicadores claves de logística

Rubro	Variable	Definición
Inventario promedio de productos terminados	$P_n I P_t$	$\sum_n P_n I P_t / 12 (t=1,2,\dots,12)$
Inventario final de productos terminados	$P_n I F_t$	$P_n I F_t (t=12)$
Inventario promedio de materias primas	$M P_m I P_t$	$\sum_n M P_m I P_t / 12 (t=1,2,\dots,12)$
Inventario final de materias primas	$M P_m I F_t$	$M P_m I F_t (t=12)$

Elaboración propia

N.4- Finanzas

Tabla 3.23. Indicadores claves de finanzas

Rubro	Variable	Definición
Margen de contribución (por producto)	$M C_n$	$M C_n = X_{2n} - \sum_n C P_n V_t / \sum_n P_n V_t (t=1,2,\dots,12)$
Sobregiros realizados	$S G_T$	$S G_T = \sum_t S G_t (t=1,2,\dots,12)$
Saldo deudor de préstamos	$R P_t$	$R P_t (t=12)$
Saldo deudor de sobregiros	$R S_t$	$R S_t (t=12)$
Utilidad Neta	$U N_T$	$U N_T = \sum_t U N_t (t=1,2,\dots,12)$

Elaboración propia

3.4. Implementación

3.4.1. Versiones

Debido a la complejidad del modelo de negocio y a la necesidad de limitar los valores de N, M, K y P, se ha implementado dos versiones del simulador de empresa: V1 y V2.

V1 es aquella donde se tiene (N=1, M=1, K=1, P=1), es decir, un producto, una materia prima, un único recurso y un único proceso productivo. Esta ha sido desarrollada para obtener la arquitectura base del simulador, para luego ampliar el alcance a (N=10, M=10, K=10, P=10) en la V2.

El detalle de las diferencias entre la V1 y V2 se encuentra en la **tabla 3.3**.

3.4.2. Versión 1 – V1

El sistema de información de la versión 1 ha sido construido en su totalidad en Excel y se denomina “SIMULADOR DE EMPRESA – V1”. El detalle de cada una de las fases se explica a continuación:

3.4.2.1. Interfaces

La versión 1 consta de cinco interfaces, que se listan en la **tabla 3.24** con el nombre que reciben en Excel y su contenido. Se puede visualizar las interfaces directamente en el archivo que se encuentra en el CD.

Tabla 3.24. Interfaces del sistema de información – versión 1

Interfaz	Nombre de hoja	Contenido
Entradas	H1.ENT	Decisiones estratégicas
	H2.PAR	Parámetros de configuración
Sistema	H3.PROC	Formulación y programación
Salidas	H4.INDOP	Indicadores claves de gestión
	H5.EEFF	Estados financieros

Elaboración propia

3.4.2.2. Formulación

Para esta fase se empleó una variedad de fórmulas y funciones en Excel, las cuales pueden visualizarse al detalle en el archivo que se encuentra en el CD. Es importante resaltar que Excel es tan solo una de las muchas aplicaciones que se puede usar para implementar el modelo matemático, por lo que el presente trabajo no brindará detalles acerca de cómo funciona Excel, ni sus fórmulas ni sus funciones.

3.4.2.3. Programación

La versión 1 no ha requerido ninguna estructura algorítmica especial, ya que las fórmulas y funciones de Excel cubren todas las necesidades del modelo matemático.

3.4.2.4. Testing

La versión 1 ha sido probada y cumple con los requerimientos del modelo matemático. Es necesario advertir que el sistema no valida las imputaciones del usuario, por lo que se espera que este comprenda el significado lógico y de negocio de los datos que ingrese.

3.4.3. Versión 2 – V2

El sistema de información de la versión 2 ha sido construido en su totalidad en Excel y se denomina “SIMULADOR DE EMPRESA – V2”. El detalle de cada una de las fases se explica a continuación:

3.4.3.1. Interfaces

La versión 2 consta de diez interfaces, que se listan en la **tabla 3.25** con el nombre que reciben en Excel y su contenido. Se puede visualizar las interfaces directamente en el archivo que se encuentra en el CD.

Tabla 3.25. Interfaces del sistema de información – versión 2

Etapa	Nombre de hoja	Contenido
Entradas	PORTAL	Botones de navegación, inicio de procesos y acceso a configuración
	H1.NEG	Denominaciones a productos, materias primas y procesos
	H1.ENT	Decisiones estratégicas
	H2.PAR	Parámetros de configuración
Sistema	H31.MKT	Formulación y programación del sistema márketing
	M32.CDP	Formulación del sistema de recursos de producción
	H33.OPT	Formulación y programación del sistema de producción
	H34.FIN	Formulación y programación del sistema de finanzas
Salidas	H41.KPI	Indicadores claves de gestión
	H42.EEFF	Estados financieros

Elaboración propia

3.4.3.2. Formulación

Dado el incremento de complejidad del modelo matemático, se realizó la formulación del sistema en tres etapas: márketing, producción y finanzas. Se vuelve a mostrar la **figura 3.10** para identificar los tres sistemas y su rol en el simulador de empresa.

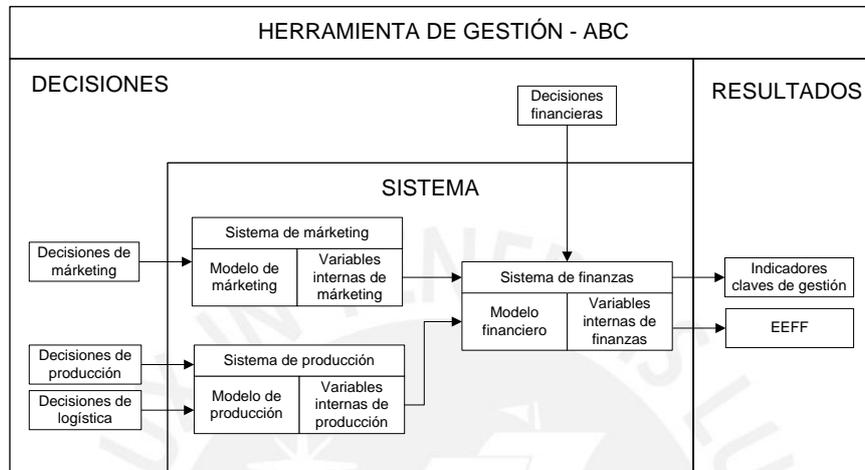


Figura 3.10. Enfoque de simulador de empresa ABC

Elaboración propia

Se empleó una variedad de fórmulas y funciones en Excel, las cuales pueden visualizarse al detalle en el archivo que se encuentra en el CD. Es importante resaltar que Excel es tan solo una de las muchas aplicaciones que se puede usar para implementar el modelo matemático, por lo que el presente trabajo no brindará detalles acerca de cómo funciona Excel, ni sus fórmulas ni sus funciones.

3.4.3.3. Programación

La gran diferencia entre el sistema de información de la versión 1 y versión 2 es que la segunda utiliza programas debido a la limitación de las funciones y fórmulas de Excel de integrar automáticamente algunas tareas al sistema.

Un programa es un conjunto de instrucciones que comienza a ejecutarse cuando ocurre un evento en el sistema (por ejemplo, un click en un botón de comando). Para la versión 2, se ha empleado macros de Visual Basic para llevar a cabo diez programas que se listan en la **tabla 3.26**. Cada programa tiene asignado un objeto, un evento que incide sobre dicho objeto y una macro asignada que se puede ver en detalle en el **anexo 2**.

Tabla 3.26. Programas del sistema de información – versión 2

Programa	Objeto asignado	Evento	Macro
Cálculo e integración de valores óptimos de producción a estructura de formulaciones del sistema	Botón “Iniciar simulación”	Click	Simulación
Visualización de la interfaz de entrada H1.ENT	Botón “Ingresar decisiones”	Click	Ver_ decisiones
Visualización de la interfaz de salida H41.KPI	Botón “Ver indicadores”	Click	Ver_ indicadores
Visualización de la interfaz de salida H42.EEFF	Botón “Ver estados financieros”	Click	Ver_EEFF
Visualización de la interfaz de entrada H2.PAR	Botón “Ingresar parámetros”	Click	Ver_ parametros
Restablecimiento de interfaz H1.ENT	Botón “Restablecer decisiones”	Click	Borrar_ decisiones
Restablecimiento de interfaces H1.NEG y H2.PAR	Botón “Restablecer negocio”	Click	Restablecer_ negocio
Retorno a interfaz PORTAL	Botón triangular naranja	Click	Ver_ menu
Bloqueo del sistema	Botón “Bloquear sistema”	Click	Proteger_ hojas
Configuración de contraseña	Botón “Configurar contraseña”	Click	Ver_pass

Elaboración propia

3.4.3.4. Testing

La versión 2 ha sido probada y cumple con los requerimientos del modelo matemático. Es necesario advertir que el sistema no valida las imputaciones del usuario, por lo que se espera que este comprenda el significado lógico y de negocio de los datos que ingrese.

3.4.3.5. Documentación

Luego de verificar el funcionamiento adecuado del simulador, se procede a crear el manual de usuario, el cual se muestra en el **anexo 1**.

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Caso: Empresa de Catering

4.1.1. Descripción general de la empresa

"Empresa de Catering" es una pequeña empresa dedicada a la preparación y distribución de sándwiches y galletas de chocochip. Sus principales clientes están conformados por tiendas, quioscos y cafeterías de institutos ubicados en el distrito de San Miguel.

"Empresa de Catering" presenta las siguientes características:

- Produce y comercializa tres productos: (1) Caja de 10 triples de pollo, (2) Caja de 10 panes con pollo y (3) caja de 10 galletas de chocochip. La composición de cada producto se detalla en la **Tabla 4.1**.
- Emplea ocho materias primas principales, las cuales se describen en la **Tabla 4.2**. Las necesidades de materia prima para fabricar cada producto de "Empresa de Catering" se muestran en la **Tabla 4.3**.
- Emplea cinco procesos productivos principales descritos en la **Tabla 4.4**. La secuencia de procesos y tiempos requeridos para elaborar cada producto se ilustran en la **Figura 4.1**.

Tabla 4.1. Composición de productos de "Empresa de Catering"

P1 – 1TRI		P2 – 2PCP		P3 – 3GAL	
Caja de 10 triples de pollo		Caja de 10 panes con pollo		Caja de 10 galletas de chocochip	
Pan de molde blanco	4 ro*	Pan de molde blanco	4 ro*	Galleta horneada	10
Jamón y queso	4 ro*	Pollo deshilachado	90 g	Caja de cartón blanca	1
Pollo deshilachado	35 g	Lechuga	1 h**	Etiqueta con f. venc.	1
Mayonesa	10 g	Mayonesa	15 g		
Caja de cartón blanca	1	Caja de cartón blanca	1		
Etiqueta con f. venc.	1	Etiqueta con f. venc.			

Elaboración propia

*ro=rodaja, **h=hoja

Tabla 4.2. Principales materias primas empleadas en “Empresa de Catering”

IDSim	Código	Descripción	Unidad	Costo unitario (S/.)
MP1	1PEC	Pollo entero	UN	19.00
MP2	2MPG	Masa para preparar galletas importada	UN	16.00
MP3	3JYQ	Jamón	KG	62.40
		Queso	KG	
MP4	4PAN	Pan de molde blanco	BARRA	5.80
MP5	5CCA	Caja de cartón blanca	UN	2.50
MP6	6MAO	Mayonesa	SACHET	0.15
MP7	7LEC	Lechuga	UN	1.40
MP8	8ETQ	Etiqueta con fecha de vencimiento	UN	0.10

Elaboración propia

Tabla 4.3. Requerimiento de materias primas por cada producto de “Empresa de Catering”

Código	Descripción	P1	P2	P3
		1TRI	2PCP	3GAL
1PEC	Pollo entero	0.5	1.25	0
2MPG	Masa para preparar galletas importada	0	0	0.5
3JYQ	Jamón	0.2	0	0
	Queso			
4PAN	Pan de molde blanco	0.2	0.1	0
5CCA	Caja de cartón blanca	1	1	1
6MAO	Mayonesa	1	1.5	0
7LEC	Lechuga	0	0.2	0
8ETQ	Etiqueta con fecha de vencimiento	1	1	1

Elaboración propia

Tabla 4.4. Principales operaciones empleadas en “Empresa de Catering”

IDSim	Código	Descripción	Persona	Equipo
OP1	1COC	Cocción / deshilachado de pollo	0	Hasta 10
OP2	2PSA	Preparación sándwiches	Hasta 10	0
OP3	3PMG	Preparación masa de galletas	0	Hasta 10
OP4	4FOR	Horneado	0	Hasta 10
OP5	5APE	Apilado / sellado / etiquetado	Hasta 10	0

Elaboración propia

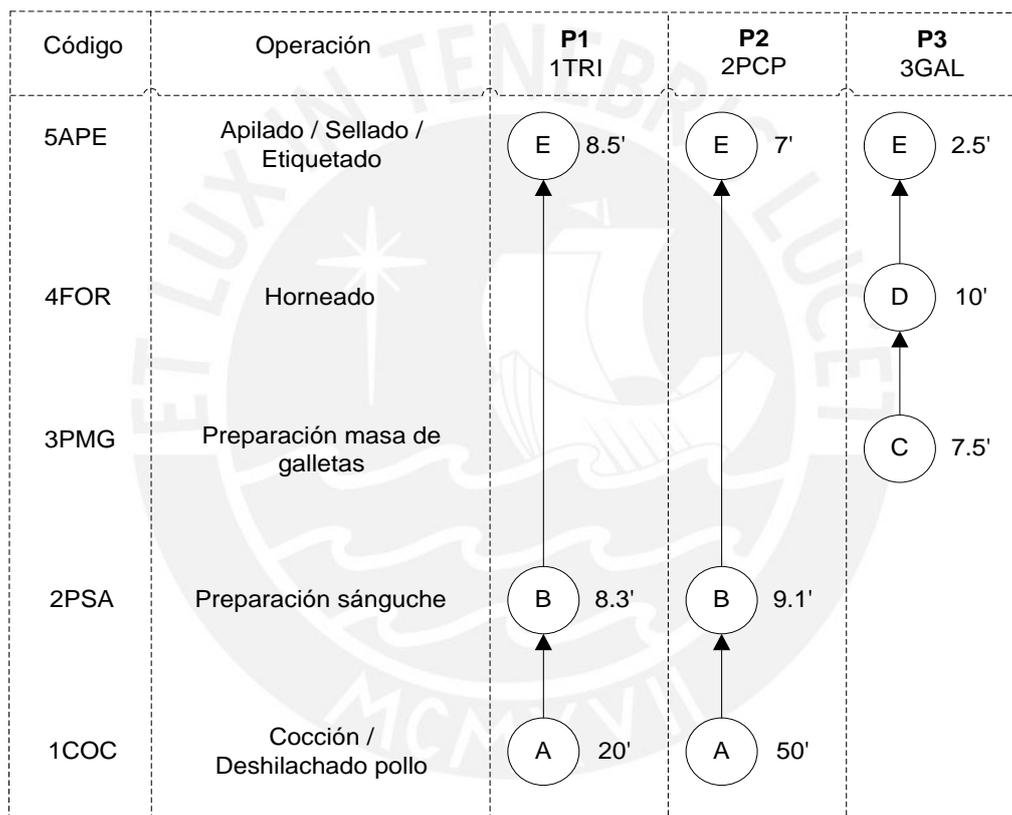


Figura 4.1. Secuencia y tiempo de operaciones por producto

Elaboración propia

No se considera costo unitario de mano de obra porque los trabajadores reciben un sueldo fijo cada mes. En consecuencia, se tiene 5 trabajadores por S/.1000 de sueldo cada uno, teniendo S/. 5000 como costo de conversión fijo (CCF). Asimismo, el costo unitario de fabricación variable asciende a S/.1 por hora máquina.

4.1.2. Comportamiento del mercado

La **Tabla 4.5** muestra el comportamiento del mercado para cada producto de “Empresa de Catering”. Los competidores están conformados principalmente por otras pequeñas empresas que producen sándwiches y postres para tiendas, cafeterías y quioscos.

Tabla 4.5. Comportamiento de mercado por producto de “Empresa de Catering”

	1TRI	2PCP	3GAL
Ventas promedio actuales	400	270	550
Distribución de la demanda	Normal	Normal	Normal
Demanda promedio del mercado	600	600	1200
Desviación estándar promedio	100	100	200
Precio de venta de “Empresa de Catering”	45	60	25
Precio de venta promedio de competidores	45	60	25
Tasa de sensibilidad por variación de precios	60%	70%	85%

Elaboración propia

La facturación anual de la empresa es S/. 575.400 (155.5 UIT). Los competidores invierten un promedio de S/. 900 al mes y publicidad y promoción. La diferencia de inversión por parte de “Empresa de Catering” y los competidores tiene una sensibilidad del 10%.

4.1.3. Condiciones iniciales de la empresa

El caso base que servirá como punto de referencia para comparar los resultados de las simulaciones se define en las tablas a continuación. La **Tabla 4.6** indica el número de personas o equipos activos por cada proceso productivo, la **Tabla 4.7** y **4.8** presentan los costos logísticos y la **Tabla 4.9** los parámetros financieros.

Tabla 4.6. Personas o equipos activos por proceso productivo – caso base

Código	Nombre	Unidades activas	Eficiencia
1COC	Cocción / deshilachado pollo	1	100%
2PSA	Preparación sándwich	1	100%
3PMG	Preparación masa galletas	1	100%
4FOR	Horneado	1	100%
5APE	Apilado / Sellado / Etiquetado	2	100%

Elaboración propia

Tabla 4.7. Costos logísticos de materias primas – caso base

	1PEC	2MPG	3JYQ	4PAN	5CCA	
Costo por unidad	19	16	62.4	5.8	2.5	S./UMP
Flete de proveedor por entrega	300	40	0	0	120	S./ent
Inventario inicial (periodo 1)	5	35	8	20	40	UMP
Costo de almacenamiento por unidad	0.3	0	0.1	0.1	0	S./UMP
	6MAO	7LEC	8ETQ			
Costo por unidad	0.15	1.4	0.1			S./UMP
Flete de proveedor por entrega	0	0	0			S./ent
Inventario inicial (periodo 1)	30	0	60			UMP
Costo de almacenamiento por unidad	0	0.1	0			S./UMP

Elaboración propia

Tabla 4.8. Costos logísticos de producto terminado – caso base

	1TRI	2PCP	3GAL	
Costo por unidad	0	0	0	UP
Costo de almacenamiento por unidad	0.4	0.4	0.3	S./UP

Elaboración propia

Tabla 4.9. Parámetros financieros – caso base

Caja operativa inicial en periodo 0	0	S/.
Tasa de interés sobre préstamos (por periodo)	2.7	%
Tasa de interés sobre sobregiros (por periodo)	7.4	%
Gastos administrativos en periodo 0	700	S/.
Tasa impositiva tributaria	30	%

Elaboración propia

4.1.4. Corrida inicial en simulador de empresa

Se define en la **Tabla 4.10** la variación del PBI, sensibilidad y referencia aleatoria para los tres escenarios del simulador. Los datos de la tabla muestran una probabilidad de 50% de aparición del escenario pesimista, que implica un 2% de variación acumulada de PBI y 120% de sensibilidad. El escenario normal tiene una probabilidad de aparición del 25%, que implica un 7% de variación acumulada de PBI y 100% de sensibilidad. Finalmente, el escenario optimista tiene una probabilidad de aparición del 25%, que implica un 11% de variación acumulada de PBI y 85% de sensibilidad.

Tabla 4.10. Definición de escenarios de simulador

	Pesimista	Normal	Optimista
Referencia aleatoria para escenario	0	0.5	0.75
Variación acumulada del PBI (12 meses)	2%	7%	11%
Índice de sensibilidad por escenario	120%	100%	85%

Elaboración propia

Se muestra en la **Tabla 4.11.** las decisiones iniciales que se tomarán para efectuar la corrida del caso base. Para este caso, se está produciendo un máximo de 500 unidades de 1TRI, 500 de 2PCP y 600 de 3GAL, las cuales serán vendidas al precio promedio de mercado, empleándose la inversión en publicidad promedio del mercado. El tiempo de producción por día es de 12 horas (360 por mes), en el cual se emplearán las unidades activas listadas en la Tabla 4.6. Además, se solicitará un préstamo único de S/. 40,000.

		1TRI	2PCP	3GAL						
X_{1n}	Capacidad de producción de cada producto P_n por periodo	500	500	600						uP_n
X_{2n}	Precio de venta por producto P_n	45	60	25						$S./uP_n$
X_3	Inversión en publicidad	900	S/.							
		1PEC	2MPG	3JYQ	4PAN	5CCA	6MAO	7LEC	8ETQ	
X_{4m}	Intervalo de abastecimiento de MP	1	1	1	1	1	1	1	1	d
X_{5m}	Cantidad de MP_m pedida	575	275	80	120	1250	850	60	1250	uMP_m
		1COC	2PSA	3PMG	4FOR	5APE				
Y_{6m}	Cantidad de recursos disponibles por proceso	2	2	1	1	3				u/POC_p
X_6	Horas de planta hábiles por periodo para la primera mitad de periodos (1-6)	360	h/p							
X_7	Horas de planta hábiles por periodo para la segunda mitad de periodos (7-	360	h/p							
X_8	Préstamo único	40000	S/.							

Tabla 4.11. Decisiones – caso base

Elaboración propia

Teniendo los inputs necesarios, se procede a la corrida del simulador. Los resultados iniciales se muestran en la hoja de indicadores de performance (**Tabla 4.12**) y en la hoja de estados financieros (**Tabla 4.13**).

Tabla 4.12. Indicadores de rendimiento – caso base

		1TRI			2PCP			3GAL			Total									
Marketing	DT _n	Demanda total	8,222	8,029	15,974						32,225	u								
	RVT _n	Ventas totales	4,840	3,248	6,670						14,758	u								
	RVTP _n	Ventas promedio por periodo	403	271	556						1,230	u								
	INT _n	Ingresos totales	217,800	194,880	166,750						579,430	S/.								
	RV/D _n	Ratio Venta/Demanda	58.9%	40.5%	41.8%						45.8%									
Producción			1TRI			2PCP			3GAL			Total								
	P _n E _t	Unidades producidas	4,840	3,248	6,670						14,758	u								
	C _n P _n	Costo de producción unitario	31.3	37.3	13.5						S/./u									
	R _n C _t	Utilización de recursos	100%	100%	26%	26%	63%				63%									
Logística			1TRI			2PCP			3GAL			Total								
	P _n I _t	Inventario promedio de productos terminados	0	0	0						0	u								
	P _n I _f	Inventario final de productos terminados	0	0	0						0	u								
			1PEC		2MPG		3JYQ		4PAN		SCCA		6MAO		7LEC		8ETQ		Total	
	MP _n I _t	Inventario promedio de materias primas	233	1	0	97	130	287	40	150										u
	MP _n I _f	Inventario final de materias primas	425	0	0	167	282	518	70	302										u
Finanzas			1TRI			2PCP			3GAL			Total								
	MC _n	Margen de contribución	13.4	21.9	11.4							S/./u								
			Total																	
	SG _t	Sobregiros realizados										0	S/.							
	RP ₂₀	Saldo deudor de préstamos										0	S/.							
RS ₂₀	Saldo deudor de sobregiros										0	S/.								
UN _t	Utilidad Neta										129,436	S/.								

Elaboración propia

Tabla 4.13. Estados financieros – caso base

ABC S.A.		ABC S.A.	
Estado de Ganancias y Pérdidas		Flujo de Efectivo	
Del periodo 1 al 20		Del periodo 1 al 20	
(en nuevos soles)		(en nuevos soles)	
Rubro	Total	Rubro	Total
Ventas netas	579,430	Ingresos operativos	579,430
Costo de ventas	-367,301	Gastos operativos	-447,080
Utilidad Bruta	212,129	Gastos financieros	-7,020
Gasto de ventas	-10,800	Flujo de caja operativo	125,330
Gastos administrativos	-9,401	Sobregiros recibidos	0
Utilidad Operativa	191,928	Préstamos recibidos	40,000
Gastos financieros	-7,020	Sobregiros cancelados	0
Utilidad antes de Impuesto a la renta	184,908	Préstamos cancelados	-40,000
Impuesto a la renta	-55,472	Flujo de caja financiero	0
Utilidad Neta	129,436	Variación de flujo de caja	125,330
		Caja inicial	0
		Caja final	125,330

Elaboración propia

De los indicadores de performance se observa que:

- Existe una demanda insatisfecha en los tres productos, cubriéndose solo el 45.8% de la demanda total.
- La producción se restringe por no contar con más jamón y queso (3JYQ) ni masa para galletas (2MPG). Esto se evidencia en el inventario promedio de esta materia prima, que es prácticamente nulo.

- De contar con suficientes materias primas se tendría como restricción los procesos de cocción / deshilachado del pollo (1PEC) y preparación de sándwiches (2PSA). Esto se evidencia en el porcentaje de utilización, que se encuentra al 100%.
- El margen de contribución más alto se obtiene por la venta de cajas de pan con pollo (2PCP). Sin embargo, es a su vez el producto con la menor producción.
- La utilidad neta del caso base es S/. 129,436 y la caja final es de S/. 125,330.

En la siguiente sección se realizarán los análisis de sensibilidad variando las decisiones y los parámetros del negocio, para así observar el efecto en los indicadores de performance y los estados financieros.

4.2. Análisis de sensibilidad: “Empresa de Catering”

4.2.1. Horas de planta

¿Qué ocurre con las ventas, utilidad neta y utilización de equipos cuando varía el número de horas de planta disponibles por mes? La **Tabla 4.14** muestra los resultados arrojados por el simulador cuando las horas disponibles por mes del caso inicial se incrementan en 10% y 20% y se reducen en 10% y 20%.

Tabla 4.14. Indicadores de rendimiento según variación de las horas de planta

Var.	Horas por mes	Ventas totales (S/.)			Utilización	Ut. Neta (S/.)	Var Ut. Neta
		1TRI	2PCP	3GAL			
+20%	432	403	299	551	55%	138,163	+6.7%
+10%	396	403	299	551	60%	138,163	+6.7%
0	360	403	270	556	63%	129,436	
-10%	324	403	227	556	64%	116,913	-9.7%
-20%	288	403	184	556	66%	104,771	-19.1%

Elaboración propia

Las ventas no se incrementan con el incremento del 20% de las horas de planta debido a que se requiere unidades de jamón y queso para producir más unidades de 1TRI. Esto quiere decir que desde el caso base es más importante elevar el abastecimiento de materia prima 3JYQ que elevar el número de horas de planta. Por otro lado, se observa que un decremento de 10% y 20% en las horas de planta tienen

como consecuencia la disminución de la utilidad neta en un 9.7% y 19.1% respectivamente.

4.2.2. Precio de venta

¿Qué ocurre con las ventas y utilidad neta cuando varía el precio de venta? La **Tabla 4.15** muestra los resultados arrojados por el simulador cuando el precio de venta de los productos del caso inicial se incrementa en 5% y 10% y se reducen en 5% y 10%.

Tabla 4.15. Indicadores de rendimiento según variación del precio de venta

Var.	Precio de venta (S/.)			Ventas totales Ratio venta-demanda			Ut. Neta (S/.)	Var Ut. Neta
	1TRI	2PCP	3GAL	1TRI	2PCP	3GAL		
+10%	49.5	66	27.5	403 62.7%	270 45.3%	556 45.0%	169,996	+31.7%
+5%	47.25	63	26.25	403 62.7%	270 40.8%	556 43.5%	149,716	+15.7%
0	45	60	25	403 59.5%	271 37.8%	556 42.3%	129,436	
-5%	42.75	57	23.75	403 57.6%	270 38.3%	556 41.5%	109,156	-15.7%
-10%	40.5	54	22.5	403 58.1%	270 39.0%	556 38.8%	88,875	-31.3%

Elaboración propia

Debido a que existe un alto porcentaje de demanda insatisfecha, el incremento de precios en 5% y 10% no afecta las ventas de los productos de la empresa. Asimismo, se observa que la variación de la utilidad neta es 3.17% por cada 1% de variación en los precios, siempre y cuando exista el alto nivel de demanda insatisfecha.

4.2.3. Abastecimiento de materias primas

¿Qué ocurre con las ventas, inventarios, gastos financieros y utilidad neta cuando varía el abastecimiento de materias primas? La **Tabla 4.16** y **4.17** muestran los resultados arrojados por el simulador cuando el intervalo de abastecimiento de materias primas es cada 1, 2 y 3 meses, y cuando el número de unidades repuestas aumenta en 25% y 66%. Los casos se presentan en la **Tabla 4.18**.

Tabla 4.16. Casos de abastecimiento de materias primas

Caso	Intervalo	1PEC	2MPG	3JYQ	4PAN	5CCA	6MAO	7LEC	8ETQ
1	1	575	275	80	120	1,250	850	60	1,250
2	2	575	275	80	120	1,250	850	60	1,250
3	3	575	275	80	120	1,250	850	60	1,250
1x1.25	1	720	350	100	150	1,570	1,070	75	1,570
1x1.66	1	900	430	125	190	1,960	1,330	95	1,960

Elaboración propia

Tabla 4.17. Ventas e inventario promedio según variación del abastecimiento de MP

Caso	Ventas totales			Inventario promedio							
	1TRI	2PCP	3GAL	1PEC	2MPG	3JYQ	4PAN	5CCA	6MAO	7LEC	8ETQ
1	403	270	556	240	1	0	98	137	296	41	157
2	203	142	281	71	4	1	49	9	95	14	29
3	137	92	189	56	8	1	37	5	77	11	25
1x1.25	500	232	600	1176	360	8	194	1588	1475	186	1608
1x1.66	500	232	600	2346	880	171	454	4123	3165	316	4143

Elaboración propia

Tabla 4.18. Gastos financieros y utilidad neta según variación del abastecimiento de MP

Caso	Sobregiros (S/.)	GF (S/.)	Ut. Neta (S/.)	Var Ut. Neta
1	0	7,020	129,436	
2	23,288	8,743	34,626	-73.2%
3	78,842	12,828	9,869	-92.4%
1x1.25	0	7,020	137,341	+6.1%
1x1.66	428,495	40,760	110,311	+14.8%

Elaboración propia

Observamos que las ventas y utilidad neta descienden cuanto mayor es el tiempo de espera para reabastecer al negocio de materias primas. Por otro lado, se observa que un mayor abastecimiento de materia prima no necesariamente incrementa la utilidad neta, esto se puede ver muy claramente en el caso 1x1.66, donde la reposición es tan elevada que genera altos niveles de inventario y la necesidad de la empresa de recurrir a sobregiros para poder pagar el abastecimiento, así como hacer frente a un mayor pago de intereses (gastos financieros). Esto sucede porque se requiere más horas de planta o más equipos para procesar toda esta materia prima y convertirla en ingreso.

4.2.4. Eficiencia de equipos

¿Qué ocurre con las ventas, costo de producción unitario, utilización de equipos y utilidad neta cuando varía la eficiencia de los equipos? Las **Tabla 4.19** muestra los resultados arrojados por el simulador cuando la eficiencia de la cocina (1COC: cocción / deshilachado de pollo) sube 8%, baja 10% y cuando se tiene 2 cocinas de 54% de eficiencia cada una.

Tabla 4.19. Indicadores de rendimiento según variación de la eficiencia de 1COC

Caso	Ventas totales			Costo de prod. unit. (S/.)			Utiliz. eq.	UN (S/.)	Var UN
	1TRI	2PCP	3GAL	1TRI	2PCP	3GAL			
108%	403	299	551	31.0	36.7	13.5	62%	136,732	+5.6%
100%	403	270	556	31.3	37.3	13.5	63%	129,436	
90%	403	227	556	31.7	38.3	13.6	63%	116,625	-9.9%
2x54%	403	72	556	34.5	45.1	13.7	54%	62,206	-51.9%

Elaboración propia

Analizando los datos observamos que el costo de producción disminuye a medida que la eficiencia se eleva, esto debido a un menor uso de los equipos. Pese al incremento de la eficiencia, las ventas totales permanecen invariables debido a la restricción de materia prima 1PEC.

4.2.5. Costo de mano de obra

¿Qué ocurre con el costo de producción unitario y utilidad neta cuando varía la el costo total de mano de obra? Las **Tabla 4.20** muestra los resultados arrojados por el simulador cuando el costo unitario se incrementa en 20% y 40% y cuando se reduce en 20% y 40%.

Tabla 4.20. Indicadores de rendimiento según variación del costo de mano de obra

Caso	Costo MO (S/.)	Costo de producción unitario (S/.)			Ut. Neta (S/.)	Var Ut. Neta
		1TRI	2PCP	3GAL		
+40%	8400	33.3	40.9	14.6	109,276	-15.6%
+20%	7200	32.3	39.1	14.1	119,356	-7.8%
0	6000	31.3	37.3	13.5	129,436	
-20%	4800	30.3	35.5	13.0	139,516	+7.8%
-40%	3600	29.2	33.7	12.4	149,596	+15.6%

Elaboración propia

Se observa que la variación de la utilidad neta es -0.39% por cada 1% de variación en el costo de producción unitario.

4.2.6. Costo de materia prima

¿Qué ocurre con el costo de producción unitario y utilidad neta cuando varía el costo unitario de materia prima? Las **Tabla 4.22** muestra los resultados arrojados por el simulador cuando el costo unitario de las materias primas se incrementa en 10% y 20% y cuando se reduce en 10% y 20% (costos en **Tabla 4.21**).

Tabla 4.21. Costo unitario de materias primas por caso

Caso	Costo unitario de materia prima (S/.)							
	1PEC	2MPG	3JYQ	4PAN	5CCA	6MAO	7LEC	8ETQ
-20%	15.2	12.8	49.92	4.64	2	0.12	1.12	0.08
-10%	17.1	14.4	56.16	5.22	2.25	0.135	1.26	0.09
0	19	16	62.4	5.8	2.5	0.15	1.4	0.1
+10%	20.9	17.6	68.64	6.38	2.75	0.165	1.54	0.11
+20%	22.8	19.2	74.88	6.96	3	0.18	1.68	0.12

Elaboración propia

Tabla 4.22. Indicadores de performance según variación del costo de MP

Caso	Costo unitario de producción (S/.)			UN (S/.)	Var Ut. Neta
	1TRI	2PCP	3GAL		
-20%	26.1	31.8	11.4	169,352	+30.8%
-10%	28.7	34.6	12.4	149,394	+15.4%
0	29.4	33.7	12.5	129,436	
+10%	33.8	40.1	14.6	109,477	-15.4%
+20%	36.4	42.8	15.6	89,519	-30.8%

Elaboración propia

Se observa que la variación de la utilidad neta es -1.54% por cada 1% de variación en el costo unitario de las materias primas.

4.2.7. Tasa de interés del préstamo

¿Qué ocurre con los gastos financieros y utilidad neta cuando varía la tasa de interés del préstamo, para un préstamo de S/. 30,000 y S/. 45,000? La **Tabla 4.23** muestra los resultados arrojados por el simulador cuando la tasa de interés se incrementa en 20% y 40% y cuando se reduce en 20% y 40%.

Tabla 4.23. Indicadores financieros según variación de tasa de interés de préstamo

Caso	Tasa préstamo	Préstamo = S/.30,000			Préstamo = S/.45,000		
		GF (S/.)	UN (S/.)	Var UN	GF (S/.)	UN (S/.)	Var UN
-20%	2.2%	5,720	130,346	+0.7%	7,150	129,345	+0.9%
-10%	2.4%	6,240	129,982	+0.4%	7,800	128,890	+0.5%
0	2.7%	7,020	129,436		8,775	128,207	
+10%	3.0%	7,800	128,890	-0.4%	9,750	127,525	-0.5%
+20%	3.2%	8,320	128,526	-0.7%	10,400	127,070	-1.0%

Elaboración propia

Se observa que la variación de la utilidad neta es aproximadamente $-0.7\%/40,000 = -0.9\%/50,000$ por cada 1% de variación de la tasa de interés y por cada sol de préstamo.

4.2.8. Tasa de interés de sobregiros

¿Qué ocurre los gastos financieros y utilidad neta cuando varía la tasa de interés de sobregiros? La **Tabla 4.24** muestra los resultados arrojados por el simulador cuando la tasa de interés de sobregiros se incrementa en 20% y 40% y cuando se reduce en 20% y 40%. Como no se requiere sobregiro alguno si se solicita el préstamo de S/. 30,000, se harán las corridas sin préstamo para evaluar el efecto de los sobregiros.

Tabla 4.24. Indicadores según variación de la tasa de interés de sobregiros

Caso	Tasa sobregiros	Sobregiros (S/.)	GF (S/.)	UN (S/.)	Var Ut. Neta
-20%	5.9%	70,327	4,149	131,445	+0.6%
-10%	6.7%	71,233	4,773	131,009	+0.3%
0	7.4%	72,032	5,330	130,618	
+10%	8.1%	72,837	5,900	130,220	-0.3%
+20%	8.9%	73,765	6,565	129,754	-0.7%

Elaboración propia

Dado que se incurre en sobregiros cuando no hay suficiente caja en un periodo, se observa que la empresa ha solicitado un promedio de S/. 72,032 en sobregiros. Para este caso donde no hay caja inicial ni préstamo solicitado, se tiene que la variación de la utilidad neta es aproximadamente $-0.6\%/20$ por cada 1% de variación de la tasa de interés.

4.3. Uso del simulador para toma de decisiones de negocio

¿Qué decisiones debería tomar “Empresa de Catering” si quisiera satisfacer la totalidad de la demanda? Se sabe que la demanda promedio por 1TRI, 2PCP y 3GAL es 600, 600 y 1200 unidades por periodo respectivamente. Actualmente, “Empresa de Catering” produce y vende alrededor de 400, 270 y 550 unidades por periodo de 1TRI, 2PCP y 3GAL respectivamente. Se utilizará el simulador para determinar las decisiones que harán posible la satisfacción de la totalidad de la demanda.

4.3.1. Materias primas

Teniendo los requerimientos de materia prima por producto de la **Tabla 4.3** y la producción requerida, se calcula el requerimiento total de materias primas, que se muestra en la **Tabla 4.25**:

Tabla 4.25. Requerimiento de materias primas para satisfacer demanda

MP/P	1TRI	2PCP	3GAL	Total
1PEC	$0.5 \times 600 = 300$	$1.25 \times 600 = 750$	0	1,050
2MPG	0	0	$0.5 \times 1200 = 600$	600
3JYQ	$0.2 \times 600 = 120$	0	0	120
4PAN	$0.2 \times 600 = 120$	$0.1 \times 600 = 60$	0	180
5CCA	$1 \times 600 = 600$	$1 \times 600 = 600$	$1 \times 1200 = 1200$	2,400
6MAO	$1 \times 600 = 600$	$1.5 \times 900 = 600$	0	1,500
7LEC	0	$0.2 \times 600 = 120$	0	120
8ETQ	$1 \times 600 = 600$	$1 \times 600 = 600$	$1 \times 1200 = 1200$	2,400

Elaboración propia

Para satisfacer la demanda promedio en cada periodo, se necesita un abastecimiento permanente de 1,050 unidades de 1PEC, 600 de MPG, 120 de 3JYQ, 180 de 4PAN, 2,400 de 5CCA, 1,500 DE 6MAO, 120 de 7LEC y 2,400 de 8ETQ. Esta decisión es

ingresada en el simulador, así como las capacidades de producción para restringir la producción a la demanda de cada producto (Tabla 4.26).

Tabla 4.26. Capacidad de producción y abastecimiento para satisfacer demanda

		1TRI	2PCP	3GAL						
X_{1n}	Capacidad de producción de cada producto P_n por periodo	600	600	1200						uP_n
		1PEC	2MPG	3JYQ	4PAN	5CCA	6MAO	7LEC	8ETQ	
X_{4m}	Intervalo de abastecimiento de MP	1	1	1	1	1	1	1	1	d
X_{5m}	Cantidad de MP_m pedida	1050	600	120	180	2400	1500	120	2400	uMP_m

Elaboración propia

4.3.2. Equipos u operarios activos por proceso productivo

Los resultados de la primera corrida – habiendo ingresado la capacidad de producción y el abastecimiento – indican que los procesos de cocción / deshilachado del pollo (1COC) y preparación de sándwiches (2PCP) están utilizados al 100% (Tabla 4.27), limitando la producción. En esta corrida se ha vendido 600 unidades de 600 esperadas de 1TRI, 192 de 600 esperadas de 2PCP y 1181 de 1200 esperadas de 3GAL.

Tabla 4.27. Resultados primera corrida para satisfacer la demanda

		1TRI	2PCP	3GAL							Total	
Marketing	DT_n	Demanda total	8,159	7,813	15,537						31,509	u
	RVT_n	Ventas totales	7,200	2,304	14,174						23,678	u
	$RVTP_n$	Ventas promedio por periodo	600	192	1,181						1,973	u
	INT_n	Ingresos totales	324,000	138,240	354,350						816,590	S/.
	RV/D_n	Ratio Venta/Demanda	88.2%	29.5%	91.2%						75.1%	
Producción			1TRI	2PCP	3GAL						Total	
	P_nE_t	Unidades producidas	7,200	2,304	14,400						23,904	u
	C_nP_n	Costo de producción unitario	30.0	35.0	12.8							S/./u
	R_nC_t	Utilización de recursos	100%	100%	56%	56%	78%				78%	
Logística			1TRI	2PCP	3GAL						Total	
	P_nIP_t	Inventario promedio de productos terminados	0	0	40							u
	P_nIF_t	Inventario final de productos terminados	0	0	226							u
			1PEC	2MPG	3JYQ	4PAN	5CCA	6MAO	7LEC	8ETQ	Total	
	MP_nIP_t	Inventario promedio de materias primas	3,320	35	8	285	2,692	4,008	530	2,712		u
MP_nIF_t	Inventario final de materias primas	6,125	35	8	510	4,936	7,374	979	4,956		u	
Finanzas			1TRI	2PCP	3GAL						Total	
	MC_n	Margen de contribución	14.8	24.6	12.1							S/./u
	SG_{-7}	Sobregiros realizados									52,746	S/.
	RP_{20}	Saldo deudor de préstamos									0	S/.
	RS_{20}	Saldo deudor de sobregiros									0	S/.
UN_{-7}	Utilidad Neta									204,259	S/.	

Elaboración propia

Para solucionar esta limitación, “Empresa de Catering” tendría que utilizar otra hornilla de la cocina (1COC) y contratar a otro operario para preparar los sándwiches (2PSA), así como incrementar en S/.1000 el costo de conversión fijo (Tabla 4.28).

Tabla 4.28. Segundo operario para 2PSA y segunda hornilla 1COC

		Disponibilidad de recursos de producción por proceso					
		k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	Total
1COC	Existencia recurso k-ésimo para POC ₁						2
1COC	Eficiencia recurso k-ésimo para POC ₁ (en caso exista)	100%	100%				
2PSA	Existencia recurso k-ésimo para POC ₂						2
2PSA	Eficiencia recurso k-ésimo para POC ₂ (en caso exista)	100%	100%				

Elaboración propia

Los resultados de la segunda corrida indican los dos operarios de apilado, sellado y etiquetado (5APE) están utilizados al 100% (**Tabla 4.29**), limitando la producción. Esto se evidencia por la materia prima acumulada en los periodos sin ser transformada. En esta corrida se ha vendido las 600 unidades esperadas de 1TRI, 384 de 600 esperadas de 2PCP y las 1200 unidades esperadas de 3GAL.

Tabla 4.29. Resultados segunda corrida para satisfacer la demanda

		1TRI	2PCP	3GAL						Total				
Márketing	DT _n	Demanda total	8,073	8,168	16,354						32,595	u		
	RVT _n	Ventas totales	7,200	4,608	14,400						26,208	u		
	RVTP _n	Ventas promedio por periodo	600	384	1,200						2,184	u		
	INT _n	Ingresos totales	324,000	276,480	360,000						960,480	S/.		
	RV/D _n	Ratio Venta/Demanda	89.2%	56.4%	88.1%						80.4%			
Producción			1TRI	2PCP	3GAL						Total			
	P _n E _t	Unidades producidas	7,200	4,608	14,400						26,208	u		
	C _n P _n	Costo de producción unitario	29.8	34.7	12.7							S/./u		
			1COC	2PSA	3PMG	4FOR	5APE						Total	
	R _n C _t	Utilización de recursos	72%	72%	56%	56%	100%					75%		
Logística			1TRI	2PCP	3GAL						Total			
	P _n I _p	Inventario promedio de productos terminados	1	0	22							u		
	P _n I _f	Inventario final de productos terminados	0	0	0							u		
			1PEC	2MPG	3JYQ	4PAN	5CCA	6MAO	7LEC	8ETQ	Total			
	MP _n I _p	Inventario promedio de materias primas	1,760	35	8	160	1,444	2,136	281	1,464		u		
MP _n I _f	Inventario final de materias primas	3,245	35	8	279	2,632	3,918	518	2,652		u			
Finanzas			1TRI	2PCP	3GAL						Total			
	MC _n	Margen de contribución	15.0	24.9	12.2							S/./u		
												Total		
	SG _r	Sobregiros realizados									18,094	S/.		
	RP ₂₀	Saldo deudor de préstamos									0	S/.		
RS ₂₀	Saldo deudor de sobregiros									0	S/.			
UN _r	Utilidad Neta									254,375	S/.			

Elaboración propia

Para solucionar esta limitación, “Empresa de Catering” tendría que contratar un tercer operario para el apilado, sellado y etiquetado (5APE). Asumiendo que esto ocurre, se ingresa al nuevo operario en el simulador (**Tabla 4.30**) y se procede a la tercera corrida.

Tabla 4.30. Tercer operario para apilado, sellado y etiquetado (5APE)

	Disponibilidad de recursos de producción por proceso					
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	Total
Existencia recurso k-ésimo para POC _s						3
Eficiencia recurso k-ésimo para POC _s (en caso exista)	100%	100%	100%			

Elaboración propia

Los resultados de la tercera corrida muestran que ya se llegó a las capacidades de producción, cubriéndose la demanda estimada de 600 unidades de 1TRI, 600 unidades de 2PCP y 1200 unidades de 3GAL (**Tabla 4.31**). Se observa también que la demanda real es mayor a la estimada, por lo cual se tiene un ratio de venta/demanda total de 85.9%.

Tabla 4.31. Resultados tercera corrida para satisfacer la demanda

		1TRI	2PCP	3GAL					Total		
		Márketing									
DT _n	Demanda total	7,981	7,923	16,194						32,098	u
RVT _n	Ventas totales	7,200	7,200	14,400						28,800	u
RVTP _n	Ventas promedio por periodo	600	600	1,200						2,400	u
INT _n	Ingresos totales	324,000	432,000	360,000						1,116,000	S/.
RV/D _n	Ratio Venta/Demanda	90.2%	90.9%	88.9%						89.7%	
Producción											
P _n E _t	Unidades producidas	7,200	7,200	14,400						28,800	u
C _n P _n	Costo de producción unitario	29.7	34.4	12.6							S/./u
R _p C _t	Utilización de recursos	1COC	2PSA	3PMG	4FOR	5APE				83%	
Logística											
P _n I _{P_t}	Inventario promedio de productos terminados	4	21	41							u
P _n I _{F_t}	Inventario final de productos terminados	0	0	0							u
MP _n I _{P_t}	Inventario promedio de materias primas	5	35	8	20	40	30	0	60		u
MP _n I _{F_t}	Inventario final de materias primas	5	35	8	20	40	30	0	60		u
Finanzas											
MC _n	Margen de contribución	15.2	25.2	12.3							S/./u
SG _T	Sobregiros realizados									15,688	S/.
RP ₂₀	Saldo deudor de préstamos									0	S/.
RS ₂₀	Saldo deudor de sobregiros									0	S/.
UN _T	Utilidad Neta									307,586	S/.

Elaboración propia

Como última observación se tiene la solicitud de sobregiros por S/. 15,688. Estos deben ser evitados debido a las altas tasas de interés y a que derivan de una inapropiada gestión financiera. Para esto, el préstamo a pedir ascenderá a S/. 56,000 (**Tabla 4.32**) y se procederá a la cuarta y última corrida, cuyos resultados se muestran en la **Tabla 4.33** (indicadores de rendimiento) y **Tabla 4.34** (estados financieros).

Tabla 4.32. Préstamo de S/. 56,000

X ₉	Préstamo único	56000 S/.
----------------	----------------	-----------

Elaboración propia

Tabla 4.33. Indicadores de rendimiento – corrida final

		1TRI			2PCP			3GAL			Total	
Marketing	DT _n	Demanda total	8,354	8,438	15,920						32,712	u
	RVT _n	Ventas totales	7,200	7,200	14,400						28,800	u
	RVTP _n	Ventas promedio por periodo	600	600	1,200						2,400	u
	INT _n	Ingresos totales	324,000	432,000	360,000						1,116,000	S/.
	RV/D _n	Ratio Venta/Demanda	86.2%	85.3%	90.5%						88.0%	
Producción	P _n E _t	Unidades producidas	7,200	7,200	14,400						28,800	u
	C _n P _n	Costo de producción unitario	29.7	34.4	12.6						S/./u	
	R _n C _t	Utilización de recursos	97%	97%	56%	56%	83%				83%	
Logística	P _n IP _t	Inventario promedio de productos terminados	3	2	15							u
	P _n IF _t	Inventario final de productos terminados	0	0	0							u
	MP _n IP _t	Inventario promedio de materias primas	5	35	8	20	40	30	0	60		u
	MP _n IF _t	Inventario final de materias primas	5	35	8	20	40	30	0	60		u
Finanzas	MC _n	Margen de contribución	15.2	25.2	12.3							S/./u
	SG _t	Sobregiros realizados									0	S/.
	RP ₂₀	Saldo deudor de préstamos									0	S/.
	RS ₂₀	Saldo deudor de sobregiros									0	S/.
	UN _t	Utilidad Neta									306,564	S/.

Elaboración propia

Tabla 4.34. Estados financieros – corrida final

ABC S.A.		ABC S.A.	
Estado de Ganancias y Pérdidas		Flujo de Efectivo	
Del periodo 1 al 20		Del periodo 1 al 20	
(en nuevos soles)		(en nuevos soles)	
Rubro	Total	Rubro	Total
Ventas netas	1,116,000	Ingresos operativos	1,116,000
Costo de ventas	-648,894	Gastos operativos	-788,083
Utilidad Bruta	467,106	Gastos financieros	-9,828
Gasto de ventas	-10,800	Flujo de caja operativo	318,089
Gastos administrativos	-8,529	Sobregiros recibidos	0
Utilidad Operativa	447,777	Préstamos recibidos	56,000
Gastos financieros	-9,828	Sobregiros cancelados	0
Utilidad antes de Impuesto a la renta	437,949	Préstamos cancelados	-56,000
Impuesto a la renta	-131,385	Flujo de caja financiero	0
Utilidad Neta	306,564	Variación de flujo de caja	318,089
		Caja inicial	0
		Caja final	318,089

Elaboración propia

La **Tabla 4.35** resume las corridas realizadas indicando las ventas de 1TRI, 2PCP y 3GAL, la restricción a la producción y la decisión de negocio a tomar para resolver la restricción.

Tabla 4.35. Resumen de corridas: Resultados y decisiones

Corrida	Ventas totales			Restricción	Decisiones
	1TRI	2PCP	3GAL		
Inicial	400	270	550		
1	600	192	1,181	1COC, 2PSA	+1 hornilla 1COC +1 operario 2PSA (+S/.1000 CCF)
2	600	384	1,200	5APE	+1 operario 5APE (+S/.1000 CCF)
3	600	600	1,200	Sobregiros	Préstamo = 56,000
4	600	600	1,200	OK	

Elaboración propia

Se concluye, por lo tanto, que si “Empresa de Catering” desea satisfacer la demanda estimada de mercado debe tomar las siguientes decisiones:

- Emplear una hornilla de cocina adicional
- Contratar un operario adicional para la preparación de sándwiches (implica incremento del costo de conversión fijo en S/.1000)
- Contratar un operario adicional para el apilado / sellado / etiquetado (implica incremento del costo de conversión fijo en S/.1000)
- Solicitar un préstamo de S/. 56,000 en vez de uno de S/. 30,000.

Las tres primeras decisiones incrementan la capacidad de producción de “Empresa de Catering” para pueda satisfacer la demanda de mercado, mientras que la última decisión permite maximizar la utilidad neta al reducir los gastos financieros producidos por sobregiros. El préstamo de S/. 56,000 es suficiente para no solicitar sobregiros que se solicitan a elevadas tasas de interés.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A nivel de los resultados arrojados por el simulador de empresa se concluye que:

El simulador permite evaluar escenarios y decidir qué se debería ejecutar para pasar de una situación de negocio inicial a una final (punto A a punto B), medibles a través de los indicadores de rendimiento y los estados financieros.

Un incremento en el ratio Venta/Demanda se puede explicar por dos razones: un incremento de las ventas debido a una mayor producción o un descenso de la demanda debido al incremento de la diferencia del precio de venta entre la empresa y el promedio de los competidores.

Cuando el ratio Venta/Demanda llega a 100% es necesario elevar la demanda vía publicidad o disminución de precios. Si esto no funciona es necesario enfocar el negocio en la venta de nuevos productos o productos con demanda insatisfecha.

Cuando el inventario promedio de una materia prima es cercano a cero (reflejado en la sección de logística de los indicadores de rendimiento) y los demás recursos de producción no están siendo usados al máximo de su capacidad, dicha materia prima está actuando como cuello de botella, por lo que debe incrementarse el número de unidades adquiridas de la misma.

Cuando el nivel de uso de los recursos de producción es cercano a 100%, los demás recursos de producción no están al tope y el ratio Venta/Demanda no alcanza 100%, es necesario incrementar la disponibilidad de los recursos de producción (vía más recursos o más tiempo por recurso) para satisfacer a la demanda faltante.

El menor nivel de producción para el producto con el mayor precio o margen de contribución indica que fabricarlo tiene un alto costo a nivel de materias primas y/o procesos y que es más rentable producir primero los demás productos.

5.2. Recomendaciones

Para mejorar el diseño del simulador de empresa, se recomienda lo siguiente:

Evaluar otras soluciones para modelar el negocio de la pequeña empresa ABC, ya que existen infinitas soluciones, siendo el modelo de la versión 2 una de ellas. Se debe tener en cuenta que toda solución debe seguir las reglas de producción, márketing, logística, finanzas y gestión empresarial.

Ampliar el número productos, materias primas, procesos y recursos por proceso según las necesidades concretas de cada empresa. Por ejemplo, la versión 2 está diseñada para abarcar hasta 10 productos, 10 materias primas, 10 procesos productivos y hasta 10 recursos por proceso productivo.

Incorporar requerimientos particulares de la pequeña empresa para mejorar el modelo matemático y proporcionar mayor exactitud a los resultados mostrados en los indicadores de performance y estados financieros.

Emplear el simulador como vehículo de enseñanza y aprendizaje para comprender la interacción entre las funciones claves de una empresa, ya que el mismo tiene utilidad no solo a nivel empresarial, sino también a nivel educativo.

Realizar un piloto donde el simulador sea empleado en una muestra de pequeñas empresas, de modo que se evalúe la utilidad del programa en una mayor escala y se defina un procedimiento para adaptar el simulador a cualquier pequeña empresa.

Evaluar la implementación del simulador en Visual Basic o Internet, con el fin de diseñar mejores interfaces para un manejo más fluido del programa. Asimismo, esto eliminaría la necesidad de contar con Microsoft Excel, así como tener que configurar las macros, biblioteca VBA y biblioteca Solver.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENNINGA, Simon. *Financial modeling*. 3a ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2008. 1133 p.

CISCO SYSTEMS, Inc. *Multimodal Learning Through Media: What the Research Says*. Pág. 3. Link: <http://www.cisco.com/web/strategy/docs/education/Multimodal-Learning-Through-Media.pdf> (Consulta: 28/08/2010)

HAX, Arnoldo C. *Gestión de empresa con una visión estratégica*. 4a ed. Santiago de Chile: Dolmen, 1996. 513 p.

HILLIER, Frederick y LIEBERMAN, Gerald. *Introducción a la investigación de operaciones*. 8a ed. México, D. F: McGraw- Hill, 2006. 1061 p.

HORNGREN, Charles; DATAR, Srikant y FOSTER, George. *Contabilidad de costos: Un enfoque gerencial*. 12a ed. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2007. 868 p.

KENDALL, Kenneth E. y KENDALL, Julie E. *Análisis y diseño de sistemas*. 6a ed. Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2005. 726 p.

LAUDON, Kenneth C. y LAUDON, Jane P. *Sistemas de información gerencial: administración de la empresa digital*. 8a ed. México, D.F: Pearson Educación, 2004. 520 p.

LAW, Averill M y KELTON, David. *Simulation modeling and analysis*. 3a ed. Boston: McGraw- Hill, 2000. 760 p.

ZAMORA, Manuel. *Estadística aplicada*. Lima: Moshera, 2006. 525 p.