UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de ingeniería

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA, A NIVEL INDUSTRIAL, BASADO EN UN MODELO CUANTITATIVO DE RIESGOS SISTEMÁTICOS Y NO-SISTEMÁTICOS

Tesis presentada por

Juan Pablo Pérez Alvarado

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala

2017

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA, A NIVEL INDUSTRIAL, BASADO EN UN MODELO CUANTITATIVO DE RIESGOS SISTEMÁTICOS Y NO-SISTEMÁTICOS

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de ingeniería

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PLANTA, A NIVEL INDUSTRIAL, BASADO EN UN MODELO CUANTITATIVO DE RIESGOS SISTEMÁTICOS Y NO-SISTEMÁTICOS

Tesis presentada por

Juan Pablo Pérez Alvarado

para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Industrial

Guatemala

2017

Vo.Bo. Asesor

Ing. César Silva

Vo.Bo. Terna Examinadora

Ing. César Silva
(ASESOR)

Ing. Estuardo Sierra A.

Lic. Eduardo Álvarez

Fecha de Aprobación: Guatemala, 16 de octubre del 2017

PREFACIO

Actualmente se tienen crecientes y poderosas razones para obtener un mejor entendimiento de la ciencia. Una de las consecuencias de la ciencia es el desarrollo de la tecnología. La influencia de la tecnología, que ha moldeado la vida, se encuentra inmersa dentro del mundo de manera basta y, sin duda, seguirá creciendo. En paz y en guerra, en trabajo y en ocio, en salud y en enfermedad, en cada una de las distintas etapas de la vida no es posible evitar la influencia de la tecnología. Una de las características de la tecnología es su habilidad para mostrar información útil para el ser humano, la cual le da una mayor percepción del entorno que lo rodea.

Sin embargo, sin los conocimientos científicos de teorías, leyes, técnicas y, en general, todo aquello que es posible e imposible, las circunstancias en las cuales se desarrolla la vida serian indiscutiblemente diferentes.

El crecimiento de la ciencia y la tecnología hace que muchos se sientan incómodos, no sólo por su efecto sobre los detalles en sus vidas sino por la aplicación que genera cambios en la sociedad que los rodea. Ambas causan implicaciones para la forma en que las personas piensan de sí mismas, de sus responsabilidades y del lugar como individuo en un mundo impersonal donde todo se pesa, cuenta, valora y comprende o al menos, así se piensa. La imagen del científico como filósofo, en algún sentido de ese término elástico, se encuentra siendo sustituida por la imagen del científico como cuantificador. Ambas imágenes tienen la capacidad de inquietar.

La tensión que subyace a esta inquietud surge de la necesidad que el ser humano siente de controlar y predecir el entorno. Busca mejorar las circunstancias en las que vive; asimismo asegurar el futuro. Para lograr dichos fines, se debe entender el entorno; se debe ser capaz de explicar por qué las circunstancias son como son. La clase de explicación que ha probado ser de mayor utilidad en diversos ámbitos como la economía, medicina e industria, por mencionar algunos, es provista por la ciencia.

Existe una estrecha relación entre el deseo innato de mejorar y asegurar las circunstancias en las que se vive, y la búsqueda del conocimiento que permita explicar el mundo científicamente. Pero con el fin de transformar la información en conocimiento científico, se debe que entender y evaluar. Esto, a su vez, requiere una comprensión del tipo de razonamiento relevante en la ciencia. El razonamiento relevante de mayor aplicación para la ciencia son las matemáticas.

Según el Diccionario de la Lengua Española por medio de la Real Academia Española define matemática como lo siguiente: “La matemática (del griego μάθημα, máthema: ciencia, conocimiento, aprendizaje, μαθηματικός, mathematikós: amante del conocimiento) es una ciencia formal que, partiendo de axiomas y siguiendo el razonamiento lógico, estudia las propiedades y relaciones entre entidades abstractas como números, figuras geométricas o símbolos.” [1] Por medio de la abstracción y el uso de la lógica en el razonamiento, la matemática ha evolucionado basándose en la contabilización, el cálculo, las mediciones y la modelación, junto con el estudio sistemático de la forma y el movimiento de los objetos físicos. Las matemáticas, desde sus comienzos, han tenido un modo práctico de desarrollo.

El ser humano mediante el reconocimiento de patrones y acorde a la información que le ha brindado la tecnología ha buscado comunicar el análisis del conocimiento científico acerca de las igualdades y desigualdades de manera universal. Un lenguaje universal lo ha encontrado en la matemática que, por medio de símbolos, ha logrado componer expresiones que traduzcan el comportamiento del mundo en el que habitan.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS

Página

LISTA DE TABLAS

Página

RESUMEN

La presente tesis presenta una relación matemática o modelo matemático de una distribución de espacio en una planta de producción mediante la transformación de indicadores de producción en términos monetarios. Clasificando un conjunto de ecuaciones dentro de tres rubros principales correspondientes al *throughput*, gasto e inventario. Dentro de cada uno de los rubros se utilizan proporciones de ajuste acorde al espacio volumétrico de trabajo analizado. Utilizando la variable primaria del tiempo estándar correspondiente a cada enfoque de estación, operación de materia prima como compuestos para productos, mantenimiento o herramienta y equipo.

Dicho modelo matemático asume una correcta ejecución en los supuestos detallados dentro de la metodología propuesta previo al ingreso de variables al modelo, tomando en consideración los siguientes pilares: Un estudio de mercado efectivo acorde a expectativas de valor agregado marginal desde la perspectiva del consumidor. Cálculo de los tiempos estándar mediante estadística paramétrica. Finalmente, clasificación de los procesos industriales, recursos, *throughput* e inventario según teoría de restricciones.

Posteriormente se procedió a utilizar programación computacional para por medio de un algoritmo encontrar la sumatoria de cada una de las ecuaciones que componen los rubros del modelo general en donde se opera la diferencia entre el t*houghput* con el gasto y el inventario. Para encontrar el óptimo del modelo se calculó una tasa de relación diferencial entre el tiempo estándar de procesamiento y tiempo estándar del manejo de materiales. Para el procesamiento estándar se utilizó la diferencia entre los tiempos de procesamiento de una estación con precedencia de operación y el cuello de botella. Para el tiempo estándar del manejo de materiales se encontró la proporción entre las distancias de centroides de las estaciones con precedencia y el paso estándar del manejo de materiales. Utilizando la tasa de conversión de tiempos se analizó mediante una condicional el escenario de la diferencia, agregando o disminuyendo el tiempo estándar inicial y generando un nuevo tiempo para optimizar la armonía de producción entre estaciones. Iterando el algoritmo para obtener un nuevo cálculo del modelo matemático que se expresa como el óptimo del valor económico de un *layout*.

Mediante un análisis, según el enfoque estadístico de probabilidad de Bayes, se asignó una función de densidad de probabilidad y dentro de un intervalo de credibilidad del 95% se obtuvo la probabilidad de cada uno de los rubros involucrados en el modelo. Finalmente se analizó la neutralidad del criterio de utilidad mediante la ponderación de las posibilidades ponderando el valor económico con sus respectivas probabilidades.

El algoritmo que calcula los Valores Económicos de *layout* también determina la probabilidad con un intervalo de credibilidad del 95% bajo el enfoque Bayesiano con una probabilidad de 49.18% para el *throughput*, 0.00018% para el Gasto Operativo y 0.07% para el Inventario determinando los Valores Económicos de l*ayout* de 119.04, 67.88 y 203.25 unidades monetarias sobre unidades temporales.

El plan de implementación del modelo determinó 6 puntos críticos para evaluar la eficacia del modelo matemático. Los cuales son el valor económico marginal del *throughput* estandarizado, mantenimiento, mano de obra indirecta, materia prima, herramientas y equipo y espacio volumétrico de producción efectivo. Las probabilidades de las posibilidades ponderadas de los ingresos y egresos representan los riesgos sistemáticos y no sistemáticos a los cuales se somete la utilidad económica en cualquier escenario. Lo anterior resulta en que el criterio de utilidad de 58.401 unidades monetarias sobre unidades temporales en el escenario óptimo.

I. INTRODUCCIÓN

Como curiosidad intrínseca de un científico y mediante la transmisión de información acelerada que brindan los avances tecnológicos cada vez es más accesible obtener conocimientos de alta calidad. Mediante la filosofía de un ingeniero industrial de llevar un paso más allá la rigurosidad científica para aplicación eficiente, el departamento de Ingeniera Industrial de la Universidad del Valle de Guatemala asiste a la convención anual realizada por el Instituto de Ingenieros Industriales y de Sistemas (IISE por sus siglas en inglés Institute of Industrial and Systems Engineers). En dicha convención se comparten conocimientos al más alto nivel. Dichos conocimientos son transmitidos por el catedrático del curso Métodos y procesos industriales e Ingeniería de métodos y procesos a manera de mantenerse a la vanguardia de las últimas tendencias, percepciones y aplicaciones a nivel mundial.

Utilizando la misma filosofía del ingeniero industrial y los conocimientos compartidos por ingeniería industrial plantean nuevas metodologías de enseñanza donde se busca realizar una simulación de un proceso de producción con distintas variables controladas. Incentivando creatividad, análisis y conceptos teóricos. Mediante dicha actividad se fomenta investigar por distintas y nuevas formas de plantear solución a problemas de distribución de plantas de producción. Dentro del ámbito de exploración de conocimientos se analiza una publicación titulada “Algoritmo hibrido basado en colonias de hormigas para la resolución de problemas de distribución de planta orientado a procesos”. [2] El impacto de dicha publicación se muestra como una adecuación de un sistema de la vida real fundamentado y respaldado por modelos matemáticos para solucionar un problema.

Dentro del ámbito de planteamiento matemático se busca saciar la curiosidad de conocimiento que justifique decisiones. Nuevamente se explora información y dentro de un curso de estadística impartido por una universidad estadounidense a nivel mundial se conoce un tipo de enfoque a la estadística que puede mostrar una probabilidad de eventos relacionados la cual se encuentra un respaldo matemático a obtener información probabilística proyectada para la toma de decisiones en base a eventos relacionados, este es el enfoque de la estadística bayesiana.

Finalmente, mediante una combinación de factores entre ellos crecimiento personal por experiencias previas, motivación y apoyo tanto a nivel familiar, personal y académico se persigue construir una tesis en ingeniería industrial que proponga una nueva teoría, se desarrolle y la aplique.

II. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

- Diseñar una metodología de evaluación para la distribución de planta, a nivel industrial, basado en un modelo cuantitativo de riesgos sistemáticos y no-sistemáticos.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Clasificar los parámetros de la ecuación del modelo cuantitativo de riesgos.
2. Optimizar el criterio de decisión en la distribución de plantas industriales mediante la estructuración lógica de un algoritmo de condición iterativo que modifique los valores en la ecuación del modelo y compare los distintos resultados de la misma.
3. Definir un plan de implementación del modelo que proporcione las directrices para evaluar la eficacia del mismo en distintos contextos considerando factores económicos, ambientales y socio-culturales.

III. JUSTIFICACIÓN

En el proceso de evolución, el ser humano ha adquirido conocimientos empíricos con los que busca mejorar su calidad de vida. Al recopilar dicha información por medio de experiencias se genera una singularidad de estudio que varía según la situación en la que se encuentre. La investigación científica busca convertir un conjunto de singularidades que contengan parámetros o variables en común, en modelos de análisis generalizados para simplificar y proveer de una solución general a una variedad de problemas.

La Ingeniería Industrial es una disciplina profesional, enfocada en las organizaciones, que busca con un conjunto de conocimientos multidisciplinarios: diseñar, ejecutar y controlar los sistemas, procesos y operaciones eficientemente. En los sistemas integrados por medio de la asignación adecuada de personas, maquinas, recursos materiales y energéticos se busca optimizar. Se apoya en el conocimiento de las ciencias matemáticas, físicas y estadísticas; y en las del comportamiento humano para funcionar como un solucionador de problemas de manera efectiva.

Al combinar la investigación científica con la Ingeniería Industrial se genera un pensamiento investigativo, crítico y analítico ante diferentes eventos. Dicho pensamiento busca optimizar distintas situaciones laborales dentro de la industria mediante los modelos matemáticos o físicos. Basados en la misma línea de pensamiento se crea una metodología de evaluación para la distribución de plantas industriales fundamentándose en un modelo cuantitativo de riesgos sistemáticos y no-sistemáticos.

La distribución de plantas industriales, después de considerar los factores externos, es el área con mayor número de elementos que influyen en el desempeño de la planta industrial. El diseño correcto de una distribución de plantas puede ahorrar el uso de distintos recursos, espacios o maquinaria. Sin embargo, el análisis involucra una serie de conocimientos y procedimientos los cuales requieren de un tiempo determinado para ejecutar. Actualmente no se cuenta una metodología que pueda buscar la mejor distribución de una planta industrial para la operación eficiente de la misma.

Enfocándose en el pensamiento de investigación científica y apoyándose con los conocimientos matemáticos y físicos de ingeniería se busca la modelación matemática para generar una respuesta óptima a la distribución de plantas industriales colocando todos los elementos dentro de la misma en las condiciones ideales para una maximización de las mismas.

IV. MARCO TEÓRICO

A. ESTUDIO DE MERCADO

Según Kotler, *et al.* (2012, pág. 188) para la fijación de precios y la obtención del valor del cliente es necesario determinar factores internos y externos que afecten las decisiones de los clientes. Para ello, el análisis económico de un estudio de mercado debe basarse en la clasificación de costos como fijos, variables y totales. Según la teoría económica esta fijación de precios se basa en la obtención del costo más el margen asociado.

Un estudio tradicional de mercado, según el libro: *Marketing* de Philip Kotler y Gary Armstrong, se compone de análisis contextual, metodología de selección de población objetivo, delimitación de factores exógenos y endógenos al mercado y determinación de componentes entorno al producto o servicio a analizar. [3]

B. MODELACIÓN MATEMÁTICA

El estudio teórico y científico de una situación gira en torno a un modelo, el mismo se define como algo que imita las características relevantes de la situación en estudio. Por ejemplo, un mapa de carretera, un mapa geológico, y una colección de plantaciones naturales son todos modelos que imitan diferentes aspectos de una porción de la superficie de la Tierra.

El indicador más significativo del buen desempeño de un modelo yace en su capacidad para imitar los problemas de la realidad para los cuales fue diseñado. Cuando se utiliza un modelo, existe una probabilidad que el mismo guíe hacia resultados o predicciones incorrectas. Normalmente el modelo se modifica, se descarta o se utiliza ya que es la forma más aproximada para describir una situación de la realidad. De esta forma la ciencia se desarrolla.

Este trabajo se enfocará únicamente en modelización matemática, que es, algún modelo que imita la realidad mediante el uso del lenguaje universal de las matemáticas. Algunas de las ventajas del uso de un lenguaje universal como lo es la matemática son:

1. Las ideas se deben formular de manera precisa y de dicha forma se evita ignorar suposiciones importantes.
2. Debido a que se cuenta con un "lenguaje" conciso, el mismo no se puede manipular fácilmente.
3. Existe una vasta cantidad de teoremas útiles para distintas situaciones, los cuales pueden acoplarse a diferentes contextos
4. Actualmente el desarrollo de la tecnología nos permite contar con máquinas de alta velocidad para cálculos complejos.

Existe una relación funcional entre los últimos dos puntos. Los teoremas o modelos simples son útiles para definir conclusiones generales. El uso de la tecnología en los modelos simples permite definir conclusiones específicas de escenarios más complicados. Debido a que los hábitos de pensamiento necesarios en la formulación de modelos son muy similares en los dos casos, sus diferencias dependerán del alcance del estudio.

Para definir en concreto la modelación, se puede decir que la misma es una construcción abstracta y simplificada de relacionar una parte de la realidad, definiendo su aplicación para un propósito particular.

El ámbito de los modelos se puede dividir en tres situaciones fundamentales:

1. En las que no se identifican todas las variables posibles involucradas.
2. Variables que se excluyen del modelo para enfocar el mismo en un objetivo de diseño distinto.
3. Para las cuales la modelización fue definida y tiene como propósito estudiar el comportamiento de la misma.

En un análisis donde situaciones externas afectan al modelo, las mismas se definen como variables exógenas. También llamadas parámetros, variaciones o variables independientes. Lo que lo modelos buscan explicar se define como variables endógenas, también llamadas variables dependientes o intrínsecas. El parámetro independiente-dependiente es la terminología utilizada como estándar para la matemática.

Para ejemplificar se utiliza el escenario hipotético en el cual se es contratado por una firma para determinar los niveles de producción a utilizar para maximizar las ganancias. Al expresar dicho modelo se debe de expresar las ganancias como la variable dependiente en términos del nivel de producción, la situación de mercado y cualquier otra situación que se considere relevante (variables independientes). Seguidamente se deberá de medir todas las variables independientes excepto los niveles de producción y formular el modelo para determinar qué valor en los niveles de producción genera la mayor ganancia.

Al categorizar las variables y definir los parámetros despreciables para el análisis es importante realizar dicha asignación correctamente. Si los parámetros despreciables son tomados incorrectamente, el modelo no será de utilidad. Si se considera muchas variables el modelo se vuelve complejo y probamente se requiera de una cantidad considerable de datos para su análisis. La selección adecuada de las variables dependientes es esencial. Se debe buscar explicar aquello comprensible para los demás.

Generalmente no hay un solo modelo que describa e imite de mejor manera una situación. Esto se debe muchas veces a que diferentes modelos aplican distintos tipos de supuestos simplificadores que alejan al mismo en mayor o menor grado, de la realidad.

Las definiciones de variables y su interrelación constituyen las suposiciones del modelo. Seguidamente se utiliza el modelo para plantear conclusiones. En el proceso deductivo se afirma que, si las suposiciones son válidas, el modelo deberá de ser válido también.

Un modelo que utiliza una gran cantidad de información teórica generalmente describe lo que sucede en un grado del alcance total. Al considerar los procesos en los niveles inferiores éstos se denominan modelos mecanicistas, porque toman en cuenta los mecanismos mediante los cuales se producen cambios. En los modelos empíricos, no se tiene en cuenta el mecanismo por el cual cambia el sistema. En lugar de ello, se limita a señalar que existe una singularidad, y el modelo intenta cuantificar los cambios asociados con condiciones diferentes

Las dos divisiones anteriores, determinista / estocástico y mecanicista / empírica, representan extremos de una gama de tipos de modelos. En el medio se encuentran un amplio espectro de tipos de modelo. Además, los dos métodos de clasificación son complementarios. Por ejemplo, un modelo determinista puede ser mecanicista o empírico (pero no estocástico).

EJEMPLO

Si se desea predecir cómo la población crecerá numéricamente en el transcurso de ciertas generaciones se puede definir el modelo de la siguiente manera. Dentro de las variables exógenas o independientes se encuentran la tasa de reproducción neta por individuo r*,* el tiempo *t,* y el tamaño de la población en su inicio. La tasa de reproducción neta se define como la tasa de nacimientos menos la tasa de muertes. De otra forma se puede expresar como la tasa fraccional de cambio en el tamaño de la población. Existe solamente una variable endógena o dependiente que muestra el tamaño de la población en determinado momento. N(t).

$$\frac{dN}{dt} = r \ (1)$$

Para obtener este modelo, se ignora los efectos del tiempo, es decir, se toma como base el tiempo presente para obtener valores determinantes de la población en el futuro sin incluir los cambios que puedan ocurrir en los dos estados de tiempo. Asimismo, se desprecia la edad reproductiva de la población y desenvolvimiento de la misma con el tiempo. Finalmente se puede tomar en consideración muchos otros factores como las condiciones de vida, abastecimiento de comida, etc. Todo depende del grado de detalle y realismo que se agregue al modelo. [4][5]

C. TEORÍA DE RESTRICCIONES

Según Chase *et al*. (2010, pág. 306) La Teoría de Restricciones (*Theory of Constraints* - *TOC*) es una metodología desarrollada por el físico Eliyahu Goldratt. La Teoría de Restricciones herramienta que permite direccionar la empresa hacia la consecución de resultados de manera lógica y sistemática, contribuyendo a garantizar el principio de continuidad empresarial. La *TOC* tiene su origen en la programación lineal, siendo utilizada inicialmente en el ambiente de fábrica dentro de una planta de producción.

La teoría fue introducida en 1984 en el libro *The Goal*. La obra literaria expuso la misma a través de una novela que tiene como protagonista a Alex Rogo, gerente de fábrica. Este personaje enfrenta múltiples problemas que ponen en peligro la continuidad de la empresa. La fábrica sobrevive a partir de análisis realizado por esta metodología que dejan a un lado las prácticas tradicionales de gerencia empresarial.

La teoría invita a los administradores de empresas a concentrar sus esfuerzos en las actividades que tienen incidencia directa sobre la eficacia de la empresa como un todo, es decir, sobre los resultados globales. Para que el sistema empresarial funcione adecuadamente las operaciones deben ser estabilizadas, para ello es necesario identificar y alterar las políticas contraproducentes. Entonces, se hace conveniente crear un "patrón" o modelo que incluya no apenas conceptos, sino principios orientadores y prescripciones, con sus respectivas herramientas y aplicaciones.

Dentro del avance de la teoría se fueron generando distintos puntos clave, se definen como las reglas de Goldratt para programación de la producción.

1. No equilibre la capacidad: equilibre el ritmo.
2. El grado de aprovechamiento de un recurso que no se atasca no está determinado por su potencial, sino por alguna restricción del sistema.
3. No es lo mismo el aprovechamiento que la activación de un recurso.
4. Tiempo perdido en un cuello de botella es tiempo perdido para todo el sistema.
5. Tiempo ahorrado en una etapa que no es un cuello de botella es una ilusión.
6. Los cuellos de botella rigen la producción y las existencias del sistema.
7. El lote de transferencia no siempre es, ni debe ser, igual al lote del proceso.
8. Un lote de proceso debe variar tanto en la ruta como en el tiempo.
9. Para fijar prioridades hay que examinar las restricciones del sistema. El tiempo de espera es un derivado de la programación de producción.

En los fundamentos de la teoría está la noción de la manufactura sincronizada, que se refiere a que todo el proceso de producción opere armónicamente para alcanzar la meta de utilidades de la compañía. Cuando la manufactura se sincroniza, se pone el énfasis en el desempeño total del sistema, no en medidas particulares, como aprovechamiento de mano de obra o de máquinas. Goldratt definió una serie de pasos metodológicos para realizar el análisis de teoría de restricciones.

1. Identifique las restricciones del sistema (no es posible hacer mejoras si no se encuentra la restricción o el eslabón más débil).
2. Decida cómo aprovechar las restricciones del sistema (que las restricciones sean lo más eficaces posible).
3. Subordine todo a esa decisión (articule el resto del sistema para que apoye las restricciones, aunque se reduzca la eficiencia de los recursos no restringidos).

4. Eleve las restricciones del sistema (si la producción todavía es inadecuada, adquiera más de este recurso para que deje de ser una restricción).
5. Si en los pasos anteriores se fracturaron las restricciones, vuelva al paso 1 pero no deje que la inercia se vuelva la restricción del sistema (cuando se resuelva el problema de la restricción, vuelva al comienzo y empiece de nuevo. Es un proceso continuo de mejora por identificar las restricciones, fracturarlas e identificar las nuevas que surjan).

El título del libro *The Goal*, se debe al objetivo primordial definido por Goldratt dentro de la metodología que se enfoca a que toda empresa tiene como planteamiento principal el ganar dinero. Dentro del sistema operativo planteado se define como la forma en la que una compañía genera dinero por 3 mediciones operativas fundamentales:

1. *Throughput*: Ritmo con que el sistema genera dinero por medio de las ventas.
2. Inventario: Todo el dinero que el sistema invirtió en comprar lo que pretende vender.
3. Gastos operativos: Todo el dinero que el sistema gasta para convertir el inventario en producto.

El *Throughput* se define según el libro *The Goal* como la “velocidad” a la cual el sistema genera dinero a través de las ventas. Tomando el concepto de velocidad no de manera física sino como la expresión de la tasa de facturación de unidades expresadas en un intervalo de tiempo. [6] Acorde a Niebel *et al*. (2014, pág. 542) la misma se define como el inverso del tiempo estándar, es decir la producción cíclica diaria.

De tal manera que se plantea que una compañía se encontrara percibiendo ganancias, o en su defecto generando dinero si la diferencia entre la producción y el inventario junto con los gastos operativos es positiva. [7]

1. SUCESOS DEPENDIENTES Y FLUCTUACIONES ESTADÍSTICAS. Según Chase *et al*. (2010, pág. 326) Se refiere a la secuencia que tiene un conjunto de procesos, es decir la capacidad de operar de un recurso depende de su inmediato precedente. La fluctuación estadística se refiere a la variación normal en torno a una media o promedio. Cuando ocurren fluctuaciones estadísticas en una secuencia dependiente sin inventario entre las estaciones de trabajo, no hay ninguna oportunidad de alcanzar la producción promedio. Cuando un proceso tarda más que el promedio, el siguiente no puede compensar el tiempo.

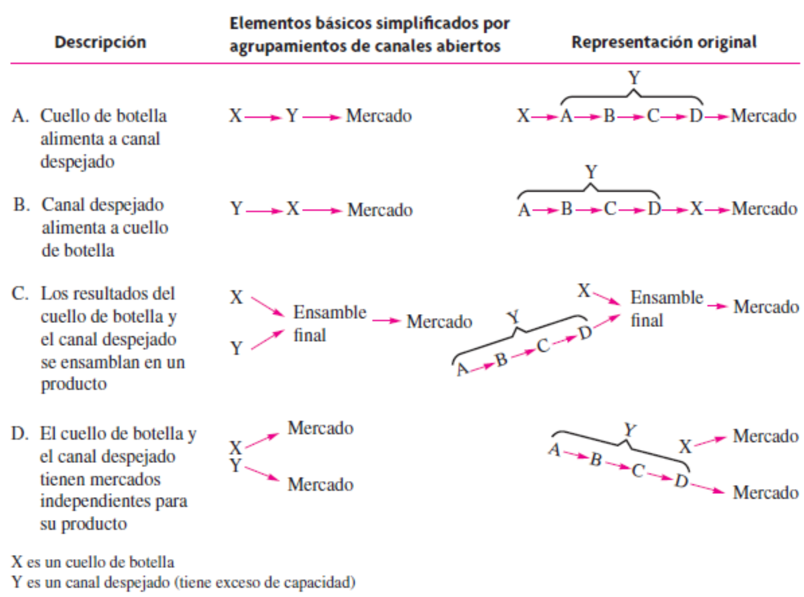
2. CUELLOS DE BOTELLA Y RECURSOS RESTRINGIDOS POR LA CAPACIDAD. Un cuello de botella se define como cualquier recurso cuya capacidad sea menor que su demanda. Un cuello de botella es una restricción en el sistema que limita la producción. En el proceso de manufactura es el punto donde el caudal se adelgaza hasta ser una corriente estrecha.

La capacidad se define como el tiempo disponible para la producción. Aquí se excluyen mantenimiento y otros tiempos sin trabajar. Un canal despejado es todo recurso cuya capacidad es mayor que la demanda que se le impone. Por tanto, un canal despejado no debe trabajar de continuo, pues produciría más de lo que se necesita. Un canal despejado incluye tiempo ocioso.

Un recurso restringido por la capacidad (RRC) es aquel cuya utilización se acerca a su capacidad y puede ser un cuello de botella si no se programa la producción con cuidado.

3. ELEMENTOS BÁSICOS DE MANUFACTURA AL AGRUPAR RITMOS DE PROCESAMIENTO

Figura 1: Distintos escenarios de localización de un cuello de botella [6]



4. PRINCIPIOS DE CONTABILIDAD GENERALMENTE ACEPTADOS VERSUS CONTABILIDAD BASADA EN TEORÍA DE RESTRICCIONES. La noción tradicional del inventario es que su único efecto negativo en el desempeño de la empresa es el costo de mantenerlo. Desde la perspectiva de la administración de restricciones, el inventario como un préstamo concedido a la unidad de manufactura. El valor del préstamo se basa solo en los artículos comprados que forman parte del inventario.

La contabilidad de costos se usa para medición de desempeño, determinación de costos, justificación de inversiones y avalúos de inventario. Para las evaluaciones se usan dos tipos de medidas de desempeño:

1. Medidas generales: son estados financieros que indican utilidades netas, rendimiento sobre la inversión y flujos de efectivo (con los que los autores están de acuerdo)
2. Medidas de contabilidad de costos locales, que muestran las eficiencias (como variaciones del estándar) o la tasa de utilización (horas trabajadas/horas presentes). Así, desde el punto de vista de la contabilidad de costos (medición local), el desempeño se basa por tradición en los costos y la utilización plena. [8]

D. DISTRIBUCIÓN DE PLANTAS DE PRODUCCIÓN

El objetivo de una correcta distribución de plantas de plantas de producción dentro de la industria es ordenar los elementos de manera que garantice el flujo continuo de trabajo. Los elementos que intervienen en la decisión de la distribución son:

- Especificación de objetos y criterios de evaluación en la aplicación del diseño. De manera general y uso común son la cantidad de espacio requerido y la distancia que se debe recorrer.
- Cálculo de la demanda de productos o servicios dentro del sistema.
- Número de operaciones y cantidad de flujo entre los elementos de la distribución.
- Espacio entre elementos por regulaciones de seguridad industrial.
- Disponibilidad de espacio dentro de las instalaciones.

El patrón general del flujo de trabajo define los formatos para ordenar los departamentos de una instalación industrial. Existen tres tipos básicos de formatos: Centro de trabajo, línea de ensamble y distribución por proyecto. De ellos se genera un hibrido llamado celda de manufactura.

El centro de trabajo también conocido como taller de trabajo agrupa funciones o equipamientos similares para facilitar su procesamiento mediante bloques y operaciones del mismo tipo.

La línea de ensamble o también conocida como distribución de flujo de trabajo muestra al equipo o los procesos de trabajo ordenados, siguiendo pasos progresivos precedentes de la fabricación de un producto. Regularmente en el enfoque clásico la ruta de cada pieza o producto es una línea recta.

La celda de manufactura reúne distintas maquinas o personas para trabajar en productos que tienen formas y requerimientos de procesamiento similares. En una celda de manufactura su forma se asemeja a la de un centro de trabajo porque las celdas están diseñadas para desempeñar un conjunto específico de procesos. Asimismo, combina la característica de una línea de ensamble en donde se cuenta con una precedencia de operaciones.

Finalmente, la distribución por proyecto se centra en el producto y en su razón de volumen o peso. Se encuentra fijo en un lugar y el equipo de producción va al producto, no a la inversa. El producto no se traslada de lugar.

En una distribución de plantas se tienen distinta forma de describir el flujo y en base a lo mismo se organizan las áreas de los recursos correspondientes. Dentro de las formas más generales se encuentran las que a continuación se ilustran. [9]

Figura 2: Flujo continuo con área de trabajo en el recurso

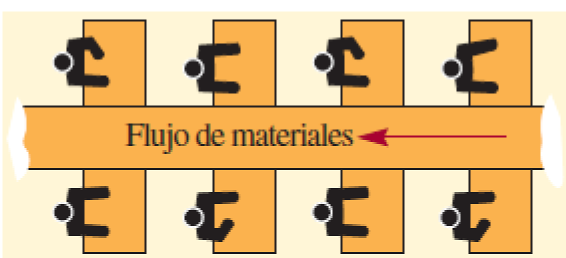


Figura 3: Flujo circular

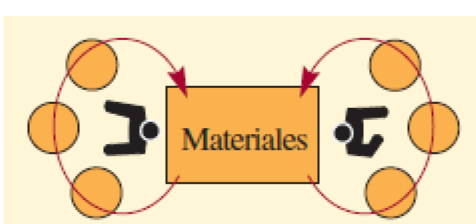


Figura 4: Flujo lineal simple

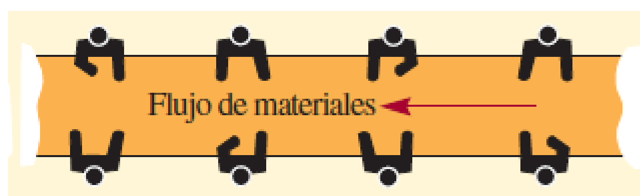


Figura 5: Flujo semi circular

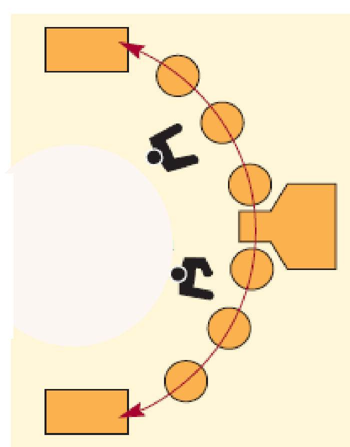


Figura 6: Flujo lineal unilateral

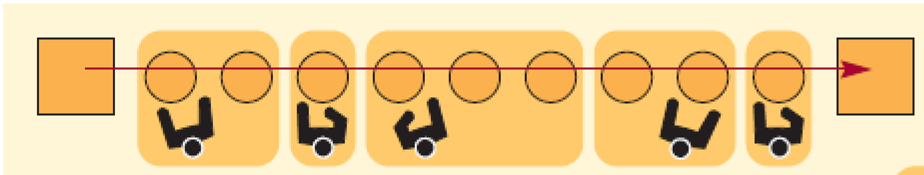
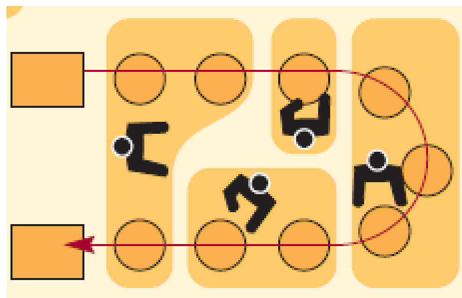


Figura 7: Flujo en forma U



E. INDICADORES DE PRODUCCIÓN

Según Michael (2007, pág. 1377), un indicador clave de desempeño se define como una medida que muestra la efectividad de un proceso en términos del potencial que posee para alcanzar una meta particular. Los indicadores son propuestos por las personas encargadas de realizar el diseño y el seguimiento para optimizar el proceso. Estos describen las capacidades, prácticas y habilidades de los operarios.

Acorde a Parmenter (2007, pág. 100), los indicadores se enfocan en aspectos críticos del rendimiento organizacional que requieren de un control y buscan la mejora continua. Estos deben contener una variabilidad en el nivel de la meta respecto a su alcance para incentivar su cumplimiento. Para que un indicador pueda ser realista y alcanzable deben considerar distintos factores que normalmente incluyen la satisfacción al cliente, ya sea interno o externo, financieros, procesos y factores humanos cualitativos.

Generalmente, los factores indicados anteriormente se basan en relaciones causa y efecto, estas pueden generar una alerta a las organizaciones para que busquen tener una cultura de prevención que evite afectar profundamente el proceso al momento de una eventualidad. Los indicadores se pueden clasificar según su implementación de la siguiente manera:

- Basado en procesos
- Basado en actividades
- Basado en el resultado

Asimismo, se pueden categorizar en distintas maneras por medio del área que se esté evaluando.

- Cuantitativos
- Cualitativos
- Eficiencia de costos
- Efectividad de costos
- Sin restricción de tiempo
- En grupos de trabajo

Es importante considerar que los indicadores de producción conllevan todo el diseño, implementación y seguimiento para que se puedan aplicar de manera efectiva y adecuada acorde a la situación de la vida real en la que se desempeña. [10][11]

F. CUANTIFICACIÓN DE FACTORES CUALITATIVOS

Dentro del campo de la cuantificación de factores cualitativos se tiene un conocimiento limitado, que se encuentra afectado por la complejidad de la subjetividad en un lenguaje matemático que busca expresar de manera exacta una realidad física cambiante. Sin embargo, existen formas de cuantificación de expectativas como la que se detalla a continuación.

La metodología proviene de un modelo de generación de datos cuya estructura se basa en la cuantificación ponderada de expectativas, indirectamente recopiladas de los grupos de interés involucrados en el análisis, junto con la proporción de valor que cada tendencia en aporta dentro del conjunto de tendencias clave de la situación en la que se aplique.

Para el criterio de selección de los grupos de interés, así como de las tendencias dentro del análisis se utiliza la herramienta de Pareto que selecciona el 20% de los rubros que afrontan la cobertura del 80% de necesidades insatisfechas. El resultado de la agrupación de datos es una matriz tridimensional. Dicha matriz presenta la asociación dentro de tres rubros principales: las expectativas del grupo de interés, las tendencias involucradas dentro del contexto y el área de enfoque principal en el que se agrupan.

Las expectativas son cuantificadas indirectamente por medio de una encuesta diseñada de manera crítica-analítica, donde se busca la asociación de elementos clave en las tendencias, que son expresadas en los grupos de interés. Los cuales a su vez son clasificados según su relación con la situación que se desarrolla el análisis. Finalmente, agrupadas según el enfoque que demande la situación de estudio.

El conjunto matemático que describe los elementos que componen la matriz se representa por la expresión:

$$\mathbb{X} \in \mathcal{M}_{i\times j\times k}\,(\mathbb{R}) \quad (2)$$

Dado que *i* es el número que representa la posición del área de agrupación, *j* es el número de posición de la tendencia dentro del área *i* y *k* es el número que denomina al grupo de interés. Su generalización se muestra gráficamente como:

$$\begin{matrix} X_{111} & X_{112} & \cdots & X_{11k} \\ X_{121} & X_{122} & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ X_{ij1} & \cdots & \cdots & X_{ijk} \end{matrix} \quad (3)$$

Se añade un factor a cada elemento de la matriz que permite realizar el porcentaje ponderado el cual determina la escala de ajuste del valor de proporción que tiene cada elemento sobre el área.

$$a_{ijk} = \{x \,/\, 0 < x < 1\} \quad (4)$$

La expresión restringe los factores para que sus valores sean un número decimal entre cero y uno que representa el porcentaje de participación de cada grupo de interés en la tendencia dentro del área. Para asegurarse que se cumpla con el total de participación, se asigna una restricción que compruebe la suma entre los factores que afectan a un área, esto se representa con la sumatoria:

$$\sum_{k=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} a_{ijk} = 1 \quad (5)$$

Dentro de la matriz, *m* es la cantidad de grupos de interés y *n* es la cantidad de tendencias que se encuentran en el área *i*. Esta generalización matemática realimenta con la información pertinente, durante el proceso de análisis, desde la fase de contexto hasta la implementación de dicha cuantificación. [12]

G. ANÁLISIS DE RIESGOS

1. RIESGOS SEGURIDAD INDUSTRIAL. La evaluación probabilística de riesgos es un método analítico formal utilizado para la protección de la salud de los operarios y su seguridad dentro del ambiente laboral. El objetivo de la misma es desarrollar métodos para predecir o anticipar situaciones concernientes a la seguridad antes que se manifiesten y evitar el posible proceso de

- Pérdida
- Lesión
- Muerte

Por otro lado, dicho método no busca garantizar el éxito de no accidentes, el enfoque se trata de evitar fallos que son inaceptables, reduciendo de manera considerable el riesgo. Dicho riesgo puede encontrarse cuantificado en términos probabilísticos y de posibilidad. Cuando se realiza el análisis se pueden considerar estos factores dentro de la valuación de los modelos, sin embargo, la incertidumbre es compleja debido a que se refiere a eventos futuros de los que no se tiene un entendimiento completo.

El riesgo es calculado utilizando representaciones matemáticas y por medio de la construcción de modelos. Dentro del contexto se pueden diferenciar entre los siguientes tipos de riesgo.

- Riesgo calculado
- Riesgo percibido

El manejo de los riesgos utiliza herramientas de la teoría de probabilidad como de posibilidad. Matemáticamente se puede expresar de la siguiente manera:

$$Riesgo = Probabilidad * Consecuencias \text{ (6)}$$

Se considera el escenario donde existan plantas industriales de químicos que podrán liberar, en caso de fallo, una dosis de radiación que afecte a la población de sus alrededores. Se puede relacionar la dosis de población afectada d_i de manera proporcional al número de plantas que fallan n_i

$$d_i \propto n_i \ (7)$$

Al reemplazar la proporcionalidad con un símbolo de igualdad mediante una constante c_i se puede expresar como

$$d_i = c_i n_i \ (8)$$

Donde la proporcionalidad que brinda la constante c_i puede identificarse como el promedio de población afectada o la dosis de radiación por planta dado el *i-esimo* fallo. En general todos los modos de fallo M en el total de dosis de población afectada se representa con la sumatoria

$$D = \sum_{i=1}^{M} d_i = \sum_{i=1}^{M} c_i n_i \ \ (9)$$

La probabilidad de que ocurra el *i-esimo* fallo en el límite de un vasto número de plantas es

$$p_i = \lim_{N \to \infty} \frac{n_i}{N} \ (10)$$

El riesgo de la planta se puede considerar como la dosis de población afectada por planta

$$R = Riesgo\ de\ la\ planta = Dosis\ de\ poblacion\ afectada = \lim_{N\to\infty} \frac{D}{N}$$

Al substituir D se obtiene

$$R = \lim_{N\to\infty} \frac{\sum_{i=1}^{M} c_i n_i}{N} = \sum_{i=1}^{M} c_i \cdot \lim_{N\to\infty} \frac{n_i}{N} = \sum_{i=1}^{M} c_i \cdot p_i \ (11)$$

El riesgo para este caso se define como el producto de la probabilidad de ocurrencia (p_i) y la consecuencia (c_i) es el valor esperado, la expresión matemática o simplemente el valor medio de la consecuencia.

El riesgo también puede expresarse en términos de la frecuencia con la que pueda ocurrir en un cierto evento. Asimismo, es posible expresar en la práctica de distintas formas. Una de ellas es como una proporción o radio como por ejemplo el número de choques automovilísticos por día en una ciudad. Finalmente, la forma por la cual se exprese se define acorde a la situación o el estudio de carácter científico que se realice. [13]

2. RIESGOS ECONÓMICOS.

La economía es una ciencia social, estudia la producción, consumo y distribución de bienes y servicios. Trata de explicar cómo las economías de cada área geográfica funcionan y cómo interactúan entre ellas.

El riesgo económico es asociado a la incertidumbre producida en el rendimiento de una inversión debida a los cambios producidos en la situación económica del sector geográfico y cultural en que opera la organización del análisis. Es una consecuencia directa de las decisiones sobre la inversión en base al mercado. De manera que la estructura de activos de la empresa es responsable del nivel y de la variabilidad de los beneficios que se generen por la explotación de los mismos.

Este es un tipo de riesgo específico o sistemático puesto que solo aplica a inversión en particular. La exposición del mismo varía según la transacción en la que se invierta. Se considera factores tanto microeconómicos como macroeconómicos.

El riesgo económico indica la variabilidad del rendimiento económico en una inversión. Para calcular el rendimiento económico se promedian los beneficios obtenido por todas las inversiones en el sistema y este se divide entro del valor del mercado de los activos. Generalmente este último se puede calcular sumando el valor de mercado de las acciones y las obligaciones que tenga el inversionista.

$$R = \frac{b}{m} \; (12)$$

Donde *R* es el rendimiento económico, *b* el valor monetario de los beneficios promedio esperados e *m* el valor monetario de mercado de las acciones más las obligaciones. Seguidamente se calcula la variabilidad respecto a su valor medio, que se obtiene mediante la varianza de la rentabilidad económica ($\sigma^2 r$) que será el resultado de dividir la varianza de *b* dentro del cuadrado de *m*

$$\sigma^2 \cdot R = \frac{\sigma^2 b}{m^2} \; (13)$$

Finalmente hay que tomar en consideración que para obtener este riesgo es necesario tener un conjunto de datos históricos de donde se pueda realizar el respectivo análisis estadístico. [13]

3. RIESGOS FINANCIEROS.

Las finanzas se centran en el financiamiento administrativo. El principio básico de las finanzas es el ahorro y los préstamos. Los cuales están directamente relacionados con el interés asociado del valor del dinero en el tiempo. Por la misma interrelación de los conceptos del dinero en el tiempo y el riesgo asociado a la disminución o aumento del mismo, se diferencia de un riesgo financiero. Se enfoca completamente en la maximización del bien como moneda.

El riesgo financiero también como riesgo de crédito o insolvencia hace referencia a la incertidumbre asociada al rendimiento de la inversión debida la posibilidad que la organización no pueda afrontar sus obligaciones financieras. Principalmente el pago de los intereses y la amortización de deudas. El riesgo financiero es debido al factor único de las obligaciones financieras fijas en las que una institución incurre para operar. Cuanto mayor sea la suma monetaria y su asociada tasa de interés, mayor la probabilidad de un incumplimiento. Se encuentra altamente relacionado al riesgo económico debido al papel que juegan los activos, productos o servicios con los que puede contrarrestar el nivel de incumplimiento en las obligaciones.

El riesgo financiero (*RF*) se calcula obteniendo la desviación típica del rendimiento financiero. Este es equivalente a la diferencia entre el valor monetario de los beneficios esperados (*b*) menos los intereses asociados (*i*), todo esto dividido el valor de mercado de las acciones ordinarias o activos para afrontar el incumplimiento de obligaciones (*n*)

$$RF = \frac{b - i}{n} \quad (14)$$

Para calcular la desviación típica se multiplica por la varianza del mismo.

$$\sigma^2 \cdot RF = \sigma^2 \left[\frac{(b - i)}{n} \right] \quad (15)$$

Finalmente cabe resaltar que, aunque estén altamente relacionados ambos riesgos, se enfocan en distintas perspectivas en donde es primordial considerar los contextos tanto externos e internos para un correcto análisis. [13]

H. ESTADÍSTICA ANALÍTICA O INFERENCIAL

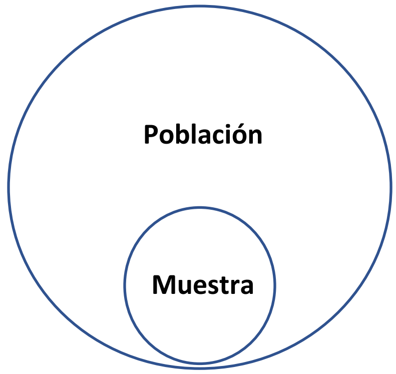
En general la estadística es definida como la ciencia que recolecta, organiza, analiza e interpreta información para tomar decisiones. Existen dos ramas principales de la estadística:

- Estadística descriptiva: Se enfoca en la organización, resumen y despliegue de información.
- Inferencial o analítica: Utiliza técnicas probabilísticas para analizar una muestra de información de cierta población, para mejorar el conocimiento de la misma.

La información está clasificada como observaciones, conteos, medidas o respuestas dentro de un conjunto de datos. Existen dos conjuntos principales: una población y una muestra. La población consiste en todas las posibles respuestas, medidas, conteos (ya sea infinitos o finitos) in los que el investigador se encuentre interesado. Una muestra es un sub conjunto de posibilidades seleccionadas de la población. La selección debe de ser aleatoria.

Gráficamente se ilustran por medio de diagramas de Venn. [14]

Figura 8: Diagrama de Venn



Finalmente es importante ya que muchas veces es ignorada, la distinción entre estadísticas y parámetros. Ya que las estadísticas son valores numéricos cuantitativos que describen una muestra. Los parámetros con valores numéricos y cuantitativos que describen una población.

La teoría de la probabilidad es el corazón de la estadística inferencial. La probabilidad es complicada de definir y utilizada dependiendo de los distintos contextos. Puede ser una proporción, un grado de certeza o una referencia a lo posible o imposible. Generalmente indica el porcentaje de ocurrencia de un evento.

I. ANÁLISIS BAYESIANO

La inferencia bayesiana es similar a la clásica. Existe un parámetro poblacional respecto al cual se desea realizar inferencias y se tiene un modelo que determina la probabilidad de observar distintos valores *x* bajo diferentes valores de los parámetros. La inferencia bayesiana considera al parámetro como una variable aleatoria. La esencia del análisis bayesiano radica en la distribución de probabilidad del parámetro dados los datos.

Lo único que se requiere para el proceso de inferencia bayesiana es la especificación previa a una distribución a priori de la probabilidad. $Pr(\Theta)$, la cual representa el conocimiento acerca del parámetro antes de obtener cualquier información respecto a los datos.

La noción de la distribución a priori para el parámetro es el eje central del pensamiento bayesiano. Hace uso explícito de las posibilidades para cantidades inciertas en inferencias basadas en análisis estadístico de datos. Se puede dividir en las siguientes etapas.

- Elección del modelo de probabilidad completo: Una distribución de probabilidad conjunta para todas las cantidades observables y no observables. El modelo debe de ser consistente con el conocimiento acerca del problema fundamental y el proceso de recolección de la información.
- Condicionamiento de los datos observados: Calcular e interpretar la distribución a posteriori apropiada que se define como la distribución de probabilidad condicional de las cantidades no observadas de interés, dados los datos observados.
- Evaluación del ajuste del modelo y las implicaciones de la distribución posteriori resultante.

La inferencia bayesiana se basa en el uso de una distribución de probabilidad para describir todas las cantidades desconocidas relevantes a un problema de estimación, la concreción técnica de este resultado

Si se dispone de una colección de variables aleatorias intercambiables $\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$ es decir que su distribución sólo depende del valor de esas variables y no del orden en que han sido observadas, entonces la distribución de probabilidad

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \int_{\Theta} \prod_{i=1}^{n} f(x_i|\theta)\, \pi(\theta)\, d\theta \qquad (16)$$

Donde Θ es la distribución inicial

$f(x_i|\theta)$ Es el modelo de probabilidad;

ϑ es el límite de alguna función de las observaciones;

π (ϑ) es una distribución de probabilidad sobre la distribución inicial Θ.

El concepto de intercambiabilidad es menor que el de muestra aleatoria simple. Por ejemplo, si las variables intercambiables x_i toman el valor 0 o 1, el teorema de representación toma la forma

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \int_{\Theta} \prod_{i=1}^{n} \theta^{x_i} (1-\theta)^{1-x_i} \pi(\theta)\, d\theta \tag{17}$$

Donde $\theta = \lim_{n \to \infty} \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}$

Es importante notar que lo que quiere decir el anterior resultado es que siempre que se tenga una colección de variables intercambiables, y en una muestra aleatoria sencilla, existe una distribución inicial sobre el parámetro θ. Además, el valor del parámetro puede obtenerse como límite de las frecuencias relativas. La aproximación bayesiana implica entonces, que la información muestral y la distribución inicial se actualizan mediante el teorema de Bayes para dar lugar a la distribución final.

$$\pi(\theta | x_1, x_2, \ldots, x_n) = \frac{\pi(\theta) f(x_1, x_2, \ldots, x_n | \theta)}{\int_{\Theta} \pi(\theta) f(x_1, x_2, \ldots, x_n | \theta)\, d\theta} \tag{18}$$

Todas las inferencias, la estimación por punto, la estimación por regiones veraces y los contrastes de hipótesis, se realizan mediante la distribución final. [15]

1. TEOREMA DE BAYES. El teorema de Bayes fue desarrollado por Thomas Bayes en 1763 y con él se expresa la probabilidad condicional de un evento aleatorio A dado otro evento B, mediante la distribución de probabilidad condicional del evento B dado A y la distribución de probabilidad marginal de sólo A. Dicho de otro modo, sea $\{A1, A2, \ldots, Ai, \ldots, An\}$ un conjunto de sucesos mutuamente excluyentes y exhaustivos, y tales que la probabilidad de cada uno de ellos es distinta de cero.

Sea B un suceso cualquiera del que se conocen las probabilidades condicionales $P(B|Ai)$. Entonces, la probabilidad $P(Ai\ |B)$ viene dada por la expresión:

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{P(B)} \tag{19}$$

Donde:

- $P(Ai)$ son las probabilidades a priori.
- $P(B|Ai)$ es la probabilidad de B en la hipótesis Ai
- $P(Ai|B)$ son las probabilidades a posteriori.

Por tanto, el teorema de Bayes hace uso de probabilidades a priori, que son probabilidades subjetivas, que se desarrollan a continuación, probabilidad de B en la hipótesis Ai, verosimilitud propia de la muestra, y una distribución a posteriori, que se alcanza mediante el producto de las dos anteriores ponderadas según la verosimilitud propia de la muestra.

Además, cabe destacar que, cuando $A1$, $A2$, … , Ak son k sucesos mutuamente excluyentes, uno de los cuales ha de ocurrir necesariamente; entonces, la ley de la probabilidad total establece que:

$$P(B) = \sum_{i=1}^{k} P(B|A_i)P(A_i) \tag{20}$$

De ser continuo, será:

$$P(B) = \int_{\Omega} P(B|x)f(x) \tag{21}$$

Donde $f(x)$ es la función de densidad de una variable aleatoria X evaluada en x, $P(B|x)$ es la probabilidad de B suponiendo que X=x y Ω es el posible espectro de valores continuos que puede tomar X

Finalmente, el teorema de Bayes se expresa de la siguiente forma:

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{\sum_{i=1}^{k} P(B|A_i)P(A_i)} \quad \text{ó} \quad P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{\int_{i=1}^{k} P(B|A_i)P(A_i)} \tag{22}$$

2. PROBABILIDAD SUBJETIVA. La estadística Bayesiana se basa en la interpretación subjetiva de la probabilidad. Para ello utiliza la percepción existente, por parte del investigador, como una variable modificadora (distribución a priori) de los datos muestrales, que dan lugar a una distribución (distribución a posteriori) con la que formular inferencias con respecto al parámetro de interés.

El hecho de amoldar los datos muestrales obtenidos en función del criterio del investigador convierte a la estadística Bayesiana en un instrumento altamente controvertido, dado que esto puede interpretarse, como que la estadística bayesiana manipula los datos muestrales con el fin de demostrar lo que uno quiere en lugar de dejar que los datos, por sí solos, demuestren o no el objeto de estudio.

Sin embargo, la aportación subjetiva del investigador no tiene que ser de por sí negativa o ser considerada manipuladora (en su sentido más peyorativo), ya que esta aportación subjetiva que realiza el investigador puede darse a causa de conocimientos previos adquiridos a través de otros estudios anteriores o por la intuición del profesional, que a diario observa la situación objeto de estudio.

Por ello la probabilidad subjetiva no debe ser interpretada, de por sí, como un instrumento inválido que únicamente pretende manipular el método científico, dado que esta puede aportar beneficios al propio método, además de poder ser contrastado a posteriori, con tal de dar validez a la probabilidad subjetiva utilizada en el proceso.

A su vez, una problemática existente en numerosas ocasiones es que las muestras son muy pequeñas, con lo que no se cumple los requisitos exigibles por el Teorema Central del Límite, que nos indica que, si n es suficientemente grande, la variable aleatoria $\bar{X} = \sum_{i=1}^{n} X_i / n$ tiene aproximadamente una distribución normal con $\mu_{\bar{X}} = \mu$ y $\sigma_{\bar{X}}^2 = \sigma^2/n$. Al mismo tiempo, no siempre se puede conocer la distribución que sigue la muestra y los experimentos no se pueden repetir. Requisitos que no son exigibles para la estadística Bayesiana, con lo que puede ser una herramienta de gran utilidad, si no única, en ciertas condiciones.

Dicho lo anterior, se puede comenzar a discernir el concepto de distribución a priori, esta se puede comprender como una distribución que modela los datos muestrales en función de los conocimientos previos existentes, como por ejemplo estudios realizados anteriormente sobre la materia de interés o simplemente, por la intención de aportar cierta información que el investigador considera oportuna.

Por ello, si considera una muestra, que puede ser o no aleatoria $\boldsymbol{X} = (X1, \ldots, Xn)$ con densidad discreta o continua en la familia $f(x, \boldsymbol{\theta})$, con $\boldsymbol{\theta} = (\theta 1, \ldots, \theta k) \epsilon\ \Theta \subset \mathbb{R}$k. Suponiendo que se tiene información previa sobre $\boldsymbol{\theta}$. Esta información está expresada por medio de una distribución sobre $\boldsymbol{\theta}$ y es esta distribución la que denominamos distribución a priori.

En conclusión, la distribución a priori lo que pretende es aportar información adicional a los datos extraídos de la muestra, de tal forma que complementen la información obtenida de ellos.

3. DISTRIBUCIÓN POSTERIORI. Por otro lado, la distribución a posteriori $p(\boldsymbol{\theta}|x)$ es, por la ley multiplicativa de la probabilidad, el producto de la función de distribución de probabilidad $p(\boldsymbol{\theta})$ y la función de verosimilitud $p(x|\boldsymbol{\theta})$.

Dicho de otro modo, la probabilidad a posteriori es aquella que resulta de aplicarle conjuntamente la probabilidad a priori (probabilidad subjetiva) y la verosimilitud de los datos (transformación de los datos experimentales en función de la probabilidad subjetiva), entre la probabilidad de los propios datos experimentales.

4. INTERVALO DE PROBABILIDAD. En la estadística bayesiana, se conoce por intervalo de probabilidad o intervalo de credibilidad a algo similar a lo que se conocería como intervalo de confianza en la estadística frecuentista. Del lado frecuentista, el intervalo de confianza hace referencia a probabilidad de que el estimador calculado se encuentre dentro de dos niveles considerados de confianza, donde la confianza dada a este intervalo suele ser, por ejemplo, del 95%. Dicho de otro modo, si repitiéramos el experimento en multitud de ocasiones, el estimador calculado se encontraría dentro del intervalo en el 95% de las ocasiones, mientras que el 5% de las ocasiones estaríamos estimando erróneamente.

El enfoque bayesiano por el contrario es algo distinto, ya que, el método utilizado para su cálculo sería mediante la curva de la función de densidad que se obtiene a posteriori, donde el área bajo dicha curva y entre unos ciertos valores X e Y con cierta probabilidad (por ejemplo, del 95%) constituyen el intervalo de probabilidad del 95%, entre los mencionados puntos (X, Y).

Es especialmente interesante la posibilidad de realizar, en la estadística bayesiana, los intervalos de probabilidad, también llamados intervalos de credibilidad. A diferencia del clásico intervalo de confianza de la estadística frecuentista, el intervalo de probabilidad o intervalo de credibilidad es un intervalo en el que se encontraría el parámetro que se desea estimar, pero con una cierta probabilidad especificada. [16]

5. *FAIR BET.* Según Herbert Lee de la Universidad de California Santa Cruz la teoría de decisión se define como:

$$Retorno\ económico\ esperado =$$

$$[(Probabilidad) \cdot (Ganancia\ económica)] - [(1 - Probabilidad) \cdot (Perdida\ económica)] \quad (23)$$

Donde el primer término del diferencial expresa la probabilidad de ocurrencia de un evento y su acción económica positiva relacionada. El segundo término muestra la probabilidad de no ocurrencia de un evento y su acción económica negativa relacionada. El resultado de dicha teoría de decisión muestra el retorno económico esperado.

Para calcular la decisión condicional probabilística conocida por su término en inglés como *Fair bet*, el retorno económico esperado deberá ser 0. Cualquier resultado positivo o negativo se encuentra relacionado con ganar o perder dinero con dicha decisión. [17]

J. TEORÍA DE PORTAFOLIO DE MARKOWITZ

Para la selección de un portafolio se requiere más que una lista de bienes y acciones. Según la teoría de Markowitz es una selección balanceada, que provee al inversionista con protecciones y oportunidades respecto a un variado rango de contingencias.

El objetivo es la selección de un portafolio que maximice el retorno y minimice el riesgo, mediante la selección adecuada de los diversos componentes del mercado.

Define el riesgo como la volatilidad del mercado donde se resguardan los bienes o acciones en las que se ha invertido. El modelo de Markowitz tiene su base en el comportamiento racional del inversionista. Su expresión para la especificación matemática se define como:

$$Max\, E_p = \sum_{i=1}^{n} x_i E_i \qquad Min\, \sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_i x_j \sigma_{ij} \quad (24)$$

Donde se encuentran sujetas a

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} x_i x_j \sigma_{ij} = V^* \qquad E_p = \sum_{i=1}^{n} x_i E_i = E^* \quad (25)$$

Dentro de las cuales se consideran las restricciones

$$\sum_{i=1}^{n} x_i = 1 \quad x_i \geq 1 \quad (i = 1,2,\ldots,n) \quad (26)$$

En donde σ_p^2 es la varianza del portafolio *p*

E_p es la rentabilidad esperada en el portafolio *p*

x_i es la proporción del presupuesto que el inversionista tiene destinado para el activo *i*

σ_{ij} es la covarianza entre los rendimientos de los activos *i* y *j*

V^* son los parámetros a estimar

E^* el resultado del mejor portafolio para cada valor de las variables. [18]

K. MODELO DE FIJACIÓN DE PRECIOS DE ACTIVOS DE CAPITAL

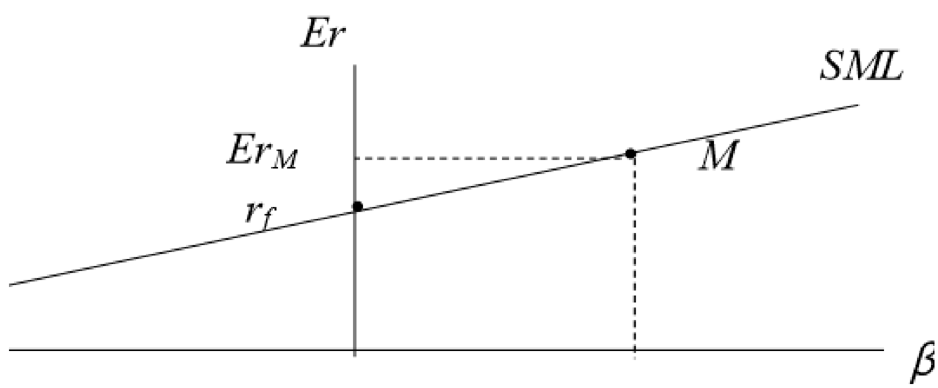
Continuando con los estudios de Harry Markowitz, William Sharpe define el modelo de fijación de precios de activos de capital como una relación lineal entre el riesgo y el retorno de inversión esperado. El fundamento propone que el inversionista debe de ser recompensado de dos formas por la inversión.

- Valor del dinero en el tiempo
- Riesgo

El valor del dinero en el tiempo es representado como un riesgo sistemático o riesgo libre en la ecuación (*rf*), y compensa a los inversionistas por utilizar su dinero durante un periodo de tiempo en determinado fin. Los riesgos no-sistemáticos representan son aquellos que no se encuentran controlados o previstos como los sistemáticos. El objetivo de incluirlos dentro de la ecuación es recompensar al inversionista por correr el riesgo adicional en las condiciones de mercado.

Utilizando una medida de riesgo (β) que compare el retorno de inversión de un activo durante un determinado periodo de tiempo.

Figura 9: Retorno de inversión según teoría Markowitz*



*Ejes adimensionales

$$Er_i = r_f + \beta(Er_M - r_f) \quad (27)$$

Donde Er_i es el retorno sobre la inversión esperado

β Es el factor *i* asignado.

Para que la inversión sea compensada adecuadamente al inversionista el valor resultante del modelo debe ser mayor al valor de la línea del mercado seguro (*SML*). [19]

L. HERRAMIENTAS DE SOFTWARE PARA LA SIMULACIÓN

Para obtener distribuciones estadísticas de datos en una muestra representativa de una muestra no representativa dentro de la población, se sigue la siguiente metodología.

Después de seleccionar un grupo al azar como grupo de control y de diseñar y ejecutar el proceso un número de veces mínimo para observar una variación en la curva de aprendizaje, se utiliza una herramienta de software para analizar los movimientos de las operaciones realizadas por el grupo control y así obtener el tiempo base de comparación.

Obtenidas las distribuciones de cada operación se procede a realizar una simulación mediante un software especializado para dicha función y de esta manera poder predecir el tiempo de producción total y tomar dicho valor como base de comparación en el análisis.

Se procede a realizar el proceso con otros grupos de estudio, cronometrar y documentar la información para su análisis posterior. Utilizando un lenguaje de programación se generan conjuntos de valores que posteriormente se replican. Los tiempos con sus respectivas variaciones según la distribución de las mismas de manera aleatoria dentro de la distribución de cada operación. Debido a las fluctuaciones estadísticas de los tiempos dentro de las distribuciones que estos presentan, los datos obtenidos al operarlos matemáticamente tienen a cero por la naturaleza de las operaciones matemáticas. Por lo que se procede a implementar un método de ajuste que consiste en tomar los promedios del porcentaje de mejoramiento en la curva de aprendizaje de la operación.

Para limitar el mejoramiento se programa un condicionante dentro de un ciclo iterativo que genera una nueva base de datos con la distribución estadística de las variaciones entre los tiempos estándar. De esta manera se incrementó el realismo de la simulación. [20]

M. PROGRAMACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS ITERATIVOS PARA LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Aunque hay una gran variedad de problemas matemáticos mediante modelos adecuados de la realidad, muchos de ellos, debido a la gran cantidad de variables involucradas presentan invariablemente una cantidad elevada de cálculos aritméticos. Muchas veces son procesos iterativos que recurren a la modificación de variables para encontrar una solución o serie de soluciones específicas. Es altamente común que con el desarrollo de las computadoras digitales eficientes y rápidas, el papel de la programación para la solución de problemas de ingeniería haya aumentado en forma considerable.

Previo a las computadoras los ingenieros solamente contaban con 3 métodos para la solución de problemas:

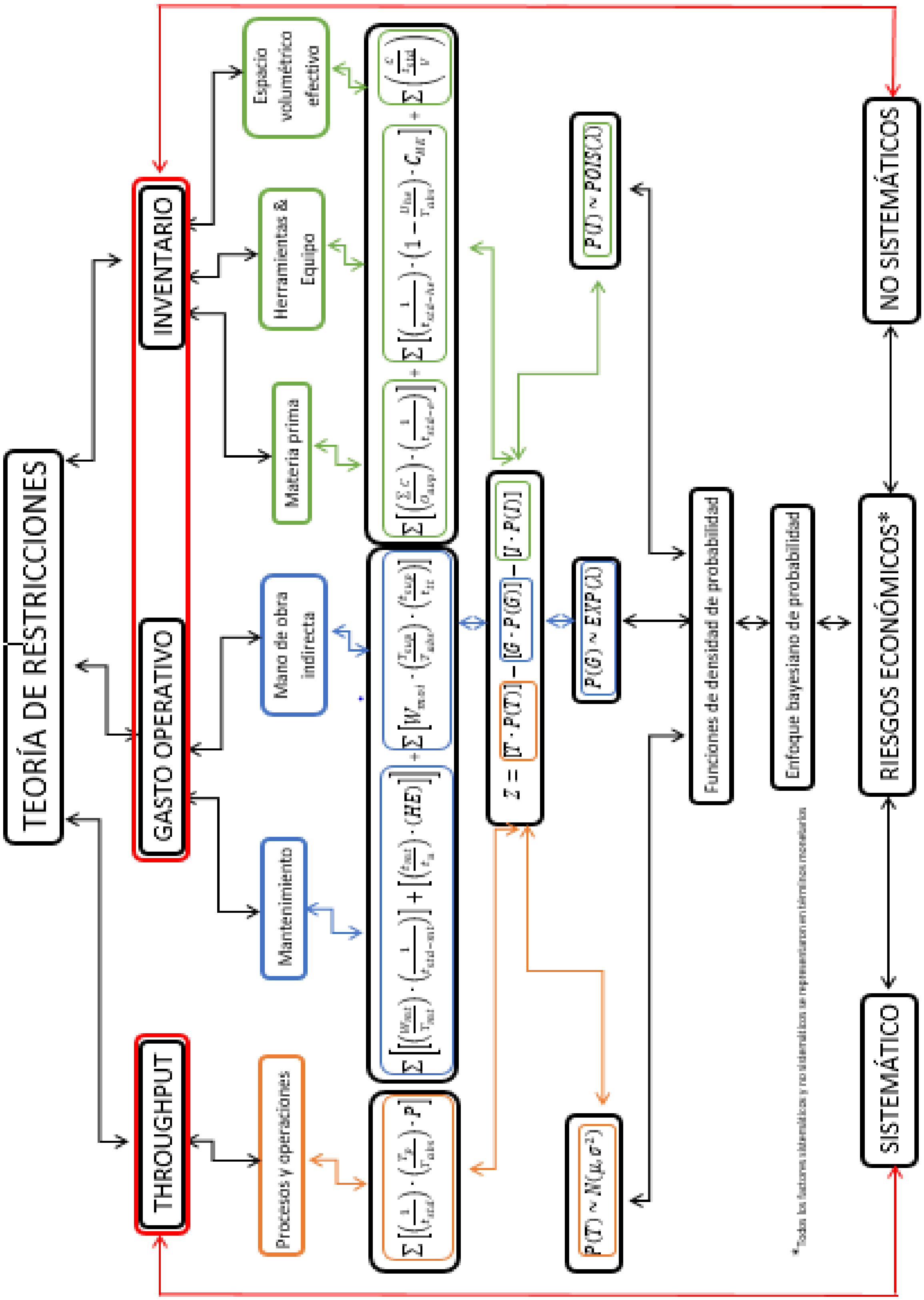
1. Soluciones usando métodos exactos o analíticos.
2. Soluciones gráficas.

Estos involucran suposiciones que alejan al modelo del ámbito realista ya que consideraban escenarios lineales. Las gráficas sin ayuda de una computadora son en extremo tediosas dentro de su implementación, además que se encuentran limitadas por únicamente 3 dimensiones. Finalmente, los cálculos manuales son lentos y tediosos, además que los resultados no son consistentes debido a que por naturalidad humana se comenten equivocaciones al efectuar dicha tarea.

Antes del uso de la computadora se gastaba mucha energía en la técnica misma de solución, en vez de aplicarla sobre la definición del problema y su interpretación. Esta situación desafortunadamente se debía al tiempo y trabajo monótono que se requería para obtener resultados numéricos con técnicas que no utilizaban la computadora.

Hoy en día, las computadoras y la programación proporcionan una alternativa para cálculos complicados. Al usar la computadora para obtener soluciones directamente, se puede aproximar los cálculos sin tener que recurrir a suposiciones de simplificación o técnicas lentas. [21]

V. DIAGRAMA DE MODELO MATEMÁTICO Y ALGORITMO



VI. METODOLOGÍA DE USO DEL MODELO MATEMÁTICO Y DEL ALGORITMO

Esta metodología propuesta presenta los pasos recomendados para la utilización del modelo matemático y el algoritmo presentado en esta tesis. Es importante considerar que los resultados del modelo matemático, como cualquier teoría con rigurosidad científica o matemática, se basa en supuestos que se proponen a continuación. Toda medición cuenta con un nivel de incertidumbre, que, para fines de la investigación, se requiere un conjunto de mediciones de procesos que representen la realidad con una función de densidad de probabilidad determinada.

A continuación, se presenta una serie de pasos propuestos para determinar los conjuntos de datos que se van ingresar al modelo matemático por medio del algoritmo. Es importante mencionar que estos mismos pasos se siguieron para la sección de plan de implementación en la que se probó el modelo matemático y el algoritmo de esta tesis.

A. ESTUDIO DE MERCADO

Como primer paso se debe realizar un cálculo de la demanda real y proyectada, compuesto de elementos potenciales y actuales, pero siempre respaldado por herramientas cuantitativas y significativas. Los datos históricos, las encuestas, el muestreo representativo de una población, y las técnicas estadísticas de cuantificación de demanda son ejemplos de respaldos cuantitativos y significativos para el estudio de mercado. Una técnica que requiere un diseño de encuestas más elaborado es la cuantificación de expectativas presentado como bibliografía de referencia sugerida. Dicha técnica requiere un análisis estadístico de percepciones, por medio de preguntas indirectas abiertas, en una encuesta para identificar patrones de expectativas.

El precio de venta de mercado es un parámetro que debe ser estimado no solo mediante encuestas y muestras representativas. Se recomienda un análisis de información asimétrica dentro del mercado para conocer la variabilidad de un precio respecto a cada oferente. El resultado de este análisis permite determinar un parámetro de comparación para el precio de venta como variable dependiente de los resultados del estudio de mercado mencionado anteriormente.

También de dicho estudio de mercado se pueden recolectar datos que respalden las expectativas del cliente mediante la percepción de un valor agregado. Este análisis permite identificar los atributos clave del producto que se perciben por parte del cliente. Luego se deberá hacer un análisis de reingeniería para identificar qué procesos corresponden a los que aportan valor a esos atributos. Finalmente asociar las operaciones, estaciones y herramientas que en conjunto consolidan los procesos que corresponden a los que aportan valor al producto por medio de esos atributos percibidos por el cliente.

B. CÁLCULO DE TIEMPOS ESTÁNDAR

El cálculo de tiempos estándar puede utilizar una técnica que se base en el enfoque de frecuencias tradicional. Bajo este enfoque, por poner un ejemplo, un tamaño de muestra representativo asumiendo la normalidad de los residuos para una regresión normal o logarítmica es aceptable para una población con varianza desconocida. Estandarizando datos de tiempos mediante la calificación de la operación, el operario o la eficiencia de la máquina con un tamaño de muestra representativo de la población. Esto, basándose en el teorema del límite central, permite que una distribución normal de tiempos con media muestral y varianza muestral determinadas sea representativa para el cálculo con un intervalo de confianza del 95%.

Se recomienda realizar el cálculo de holguras como se determinó en el plan de implementación. La estrategia para el cálculo de holguras puede diferir según el tipo de producto y proceso siendo la más adecuada el tiempo estándar para descansos infrecuentes y largos, frecuentes y cortos o prolongación del mismo.

C. CLASIFICACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

Para el análisis de procesos es importante comenzar, metodológicamente, con la clasificación según el objetivo de la producción. [22] Es por ello que determinar si los procesos son de fabricación, línea de ensamble, conversión o prueba permite discriminar los indicadores de producción más relevantes.

Previo a la clasificación de parámetros, que se presenta en la siguiente sección, se requiere un análisis de procesos con indicadores de producción expresados como:

- Tiempos de procesamiento
- Tiempos de fila
- Tiempos de espera
- Tiempos muertos
- Tiempos de preparación (diagramados y no diagramados)
- Tiempos de ciclo
- Tiempos de corrida

La configuración del Diagrama de Operaciones del Proceso (DOP por sus siglas) y su correspondiente análisis es el siguiente paso metodológico. Bajo este umbral de análisis se determina el efecto de los procesos en paralelo, los tiempos de *setup* (preparación) diagramados y la cuantificación del tamaño de lote para obtener los efectos en el tiempo de ciclo. Un correspondiente análisis de la ruta más larga, aplicando la metodología CPM (*Critical Path Method* por sus siglas en inglés) a procesos industriales, permite comparar el tiempo resultante del cuadro de resumen con el tiempo de procesamiento.

Además, este mismo análisis permite la comprensión de las fluctuaciones estadísticas con sus respectivas funciones de densidad de probabilidad correspondientes ante los sucesos dependientes característicos de un proceso. El efecto de esto último determina la variación del tamaño de lote una vez se haya identificado el cuello de botella como recurso cuya capacidad es inferior a la demanda impuesta sobre él. Esta identificación de las restricciones del sistema de producción permite calcular el tamaño de buffer por cualquier técnica que responda a la estrategia de la empresa.

Se podría utilizar una estrategia de producción para tener inventario (MTS *Make To Stock* por sus siglas en inglés) o de producción por pedido (MTO *Make to Order* por sus siglas en inglés). Ségun dicha estrategia se puede calcular el tamaño de buffer frente al cuello de botella como aquel material en un estado semi-terminado. Si la función de densidad de probabilidad es normal se puede utilizar la desviación estándar y un intervalo de confianza, con enfoque frecuentista, para determinar el tamaño de buffer. Esto representaría la medida de dispersión según la densidad de probabilidad que se desee cubrir siguiendo el procedimiento de *Lean Six Sigma* para la gestión de calidad. Todos los pasos metodológicos anteriores presuponen que un estudio de micro y macro movimientos fue ejecutado para la estandarización de operaciones correspondientes.

D. CLASIFICACIÓN DE RECURSOS

El siguiente paso, siguiendo la lógica del análisis de procesos, es determinar las posibles formaciones de balance de líneas. Una vez se cuente con los elementos del análisis de procesos clasificados según los pasos anteriores, se deben utilizar los tiempos estándar para realizar el balance de líneas. Con este enfoque se puede analizar las precedencias entre las actividades, el número de estaciones de trabajo necesarias, al igual que las posibles combinaciones y permutaciones de todas las operaciones. Una vez balanceadas las líneas, y habiendo seleccionado el modelo óptimo en base a número de estaciones o tiempo de ciclo, se procede a analizar las restricciones del diseño. Se deben utilizar los criterios que se presentan en el marco teórico para el análisis de restricciones, localizando el cuello de botella, los recursos restringidos por su capacidad y las relaciones entre ellos.

Luego de este paso se clasifica la mano de obra y los recursos requeridos como directa e indirecta. Es importante en este paso de la metodología que se utilicen los principios de contabilidad generalmente aceptados para la clasificación en base a costos de los recursos. También se debe utilizar el criterio del análisis de valor agregado, proveniente del estudio de mercado, para la clasificación entre trabajo directo e indirecto.

Como tercer criterio se debe utilizar la nomenclatura estándar del diagrama de operaciones del proceso (DOP por sus siglas) para la clasificación de recursos directos e indirectos. En este paso la recomendación es que se tomen las operaciones (representadas por círculos) como operaciones que tienden a agregar valor mientras que transportes (representados por flechas), inspecciones (representadas por cuadriláteros), almacenamientos o amortiguadores (representados por triángulos invertidos) y cualquier mezcla o variación de las mismas no agregan valor. El último criterio debe ser el criterio de localización del puesto de trabajo. Si el puesto de trabajo del recurso que se desea clasificar se encuentra físicamente localizado en la planta de producción, y específicamente dentro del *layout* (distribución en planta) del proceso la clasificación puede darse como directa o indirecta.

E. CÁLCULO DE *THROUGHPUT*

Previo al ingreso de datos dentro del modelo matemático se necesita calcular el *throughput*, según la teoría de restricciones y los pasos anteriores de la metodología. Para ello es importante identificar las restricciones y específicamente el cuello de botella. Luego de obtener el tiempo estándar del cuello de botella se puede utilizar esta medida para obtener, mediante el inverso, la producción diaria estándar o *throughput*. Es necesario que se haga la evaluación del *throughput* para asegurar que se clasifica como tal, si y solo si se concreta la tasa de facturación, es decir se concreta le venta.

F. CÁLCULO DEL INVENTARIO

La clasificación del inventario requiere la discriminación entre el costeo tradicional basado en los principios de contabilidad generalmente aceptados y el costeo según la teoría de restricciones planteada por Eliyahu Goldratt en el libro La Meta [8].

Para continuar el cálculo del inventario es necesario comprender la relación del espacio volumétrico efectivo. Este concepto fue desarrollado para determinar la relación entre un espacio volumétrico y la tasa de productividad que se produce en dicho espacio. Por lo que se planteó como el espacio tridimensional de diseño (largo, ancho y alto) en comparación con el espacio tridimensional (largo, ancho y alto) antropométrico para hallar el máximo. El espacio tridimensional de diseño se calcula como las medidas de la estación de trabajo en sus restricciones físicas o requerimientos auxiliares traducido a áreas y volúmenes. Estos requerimientos auxiliares pueden ser de energía o de soporte (calderas, energía eléctrica, calorífica, vapor, aire comprimido, nitrógeno líquido, agua, etc.).

El espacio tridimensional antropométrico requiere una medición estratégica de los trabajadores y operarios de la empresa. Para ello se puede utilizar las técnicas de diseño de muestreo recomendadas según el conocimiento que se tenga de los potenciales datos poblacionales. Un canal de comunicación efectiva con el departamento de recursos humanos de la empresa para la determinación y documentación de los datos antropométricos de los operarios de la empresa es recomendable desde el perfil de puesto para cada estación de trabajo.

Según el máximo entre estas dos medidas se compone el espacio volumétrico. Luego se requiere la determinación de la tasa de tiempo que cada recurso permanece en el espacio volumétrico agregando valor al producto (según las definiciones de análisis de valor agregado presentado en esta sección). Dicha tasa se pondera sobre el total de tiempo disponible que el recurso cumple como jornada laboral o turno.

Ante esta composición por cada una de las dimensiones del espacio volumétrico (largo, ancho y alto) se pondera la antes mencionada tasa para obtener un costo total representativo por volumen de espacio del *layout*.

El factor de herramientas y equipo se calcula mediante el análisis de tiempo estándar en que cada herramienta agrega valor a un producto por estación de trabajo. Se multiplica por un factor de ajuste adicional que es determinado por la proporción de unidades que son reprocesadas entre las unidades totales. Este factor de ajuste asegura que el cálculo del tiempo que la herramienta agrega valor al producto sea solamente en las unidades que se procesan una vez, ya que la segunda vez o reciclaje de reprocesos se contabilizan dentro de un estado de resultados como gasto. El costo de la herramienta se carga al modelo matemático con cada lote de unidades producidas ya que lo que se intenta cuantificar es el costo acumulado de utilización de la herramienta ante el costo de oportunidad de la misma valuada al monto monetario al cual fue adquirido.

El último factor que metodológicamente debe considerarse es el de materia prima en base al valor económico agregado. La materia prima es tratada por recursos en diferentes estaciones de trabajo a lo largo de la cadena de proceso. Y en algunas estaciones de trabajo debe calcularse la cantidad o unidad métrica correspondiente en la cual la materia prima debe agregar valor al producto. Es por esto que, de nuevo el análisis de valor agregado del producto según los resultados planteados en esta metodología, la tasa de valor agregado modifica la materia prima según las estaciones en las que es procesada.

G. CÁLCULO DEL GASTO OPERATIVO

La clasificación del gasto operativo como todo valor económico invertido al sistema de producción para convertir inventario en *throughput*.

El factor de mantenimiento considera una relación del salario dentro del *throughput* entre mantenimientos con un ajuste de la producción diaria estándar que resultante de dicho mantenimiento más el tiempo de uso de la herramienta para mantenimiento sobre el tiempo de uso total de la herramienta generando con esa relación un tiempo efectivo de uso en mantenimiento de la herramienta.

Finalmente el factor de la mano de obra indirecta considera el salario de la mano de obra indirecta con ajuste respecto a la relación proporcional de *troughput* bajo supervisión entre el *throughput* absoluto del sistema, adicional se aplica un ajuste en referencia al tiempo efectivo de supervisión que se obtiene mediante la relación de tiempo de supervisión y tiempo total de trabajo de la mano de obra indirecta.

VII. CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS

Se asignaron los parámetros del modelo matemático por la categoría *throughput*, gasto e inventario y el correspondiente conjunto de ecuaciones que componen dicha categoría. Posteriormente se definió el orden de ingreso y clasificación dentro del algoritmo por medio de la planificación programática. De igual forma se clasifica en el algoritmo como un conjunto de sub compuestos que conforman la unidad y se trabajan dentro de un espacio físico de trabajo.

A. CLASIFICACÍON DE PARÁMETROS DEL MODELO MATEMÁTICO

1. *THROUGHPUT*

- Operaciones marginales por medio del inverso del tiempo estándar por ciclo de operación, es decir, la producción cíclica estándar.
- *Throughput* del producto fabricado en la estación asociada.
- *Throughput* de los distintos productos fabricados en la planta de producción.
- Precio de venta de los distintos productos fabricados en la estación asociada.

2. INVENTARIO

- Materia prima
    - Costos de la materia prima que componen el producto fabricado en la estación asociada.
    - El número de operaciones que agregan valor al producto fabricado acorde a los ojos del consumidor.
    - Tiempo estándar de la estación que trabaja dicha materia prima.
- Herramientas y equipo
    - Tiempo estándar de la herramienta o equipo.
    - Unidades procesadas por la herramienta.
    - *Throughput* del sistema absoluto por producto.
    - Costo de la herramienta o equipo.
- Espacio volumétrico efectivo
    - Largo y ancho inicial
    - Altura, largo y ancho de diseño que se define como el diseño de construcción del espacio
    - Altura, largo y ancho antropométrico, es la altura según la medición del cuerpo humano [7]

- Salario del recurso operando dentro de la estación de trabajo asociada
- Costo por mantenimiento de un volumen de trabajo dependiente de la producción.
- Costo de operación de un volumen de trabajo.
- Tiempo efectivo que el recurso pasa en el volumen de trabajo
- Tiempo total disponible de trabajo del recurso
- Costo fijo del volumen de trabajo
- Tiempo estándar de la operación asociada con el volumen de trabajo

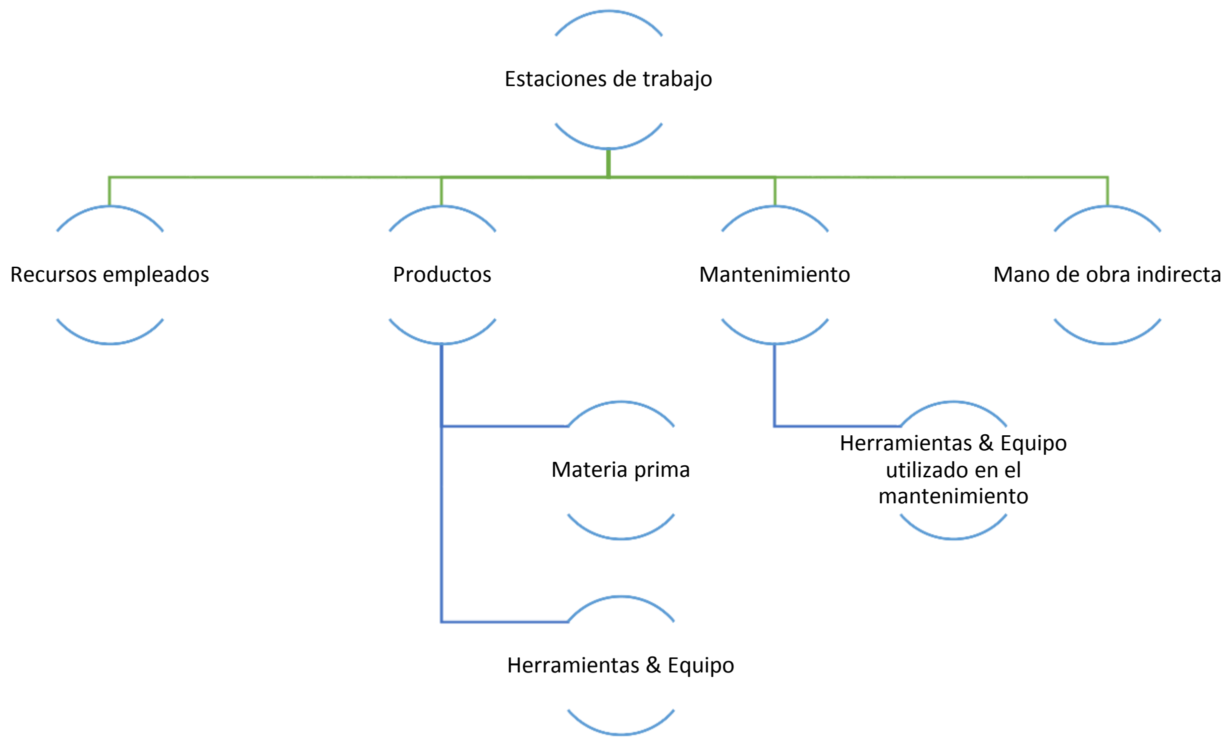
3. GASTO OPERATIVO

- Mantenimiento
  - Costo o salario del recurso empleado para el mantenimiento
  - *Throughput* entre el ultimo mantenimiento y el mantenimiento actual
  - Tiempo estándar del mantenimiento
  - Tiempo empleado en el mantenimiento
  - Tiempo total de uso de la herramienta empleada para el mantenimiento.
- Mano de obra indirecta
  - Salario del recurso de mano de obra indirecta
  - *Throughput* bajo supervisión de la mano de obra indirecta
  - *Thoughput* absoluto del sistema de producción
  - Tiempo de supervisión del recurso de la mano de obra indirecta
  - Tiempo total disponible de trabajo del recurso de la mano de obra indirecta

B. CLASIFICACÍON DE PARÁMETROS DEL ALGORITMO

Se solicitaron los datos acorde al conjunto de subcomponentes que formaban la variable principal o que dependían de ella de forma programática o realista como se describe a continuación

Figura 10: Jerarquía de datos ingresados por el usuario en el algoritmo



VIII. ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático tiene por referencia el concepto de utilidad de teoría de restricciones donde la misma se encuentra dada por la diferencia entre el *troughput*, gasto e inventario. Según dicho concepto se crearon los fundamentos principales que definen los cimientos del modelo matemático, el cual se expresa por medio de la variable primaria, el tiempo estándar, con sus respectivas referencias de relación. De tal forma que se crean ecuaciones en función a indicadores de la planta de producción desde una perspectiva de aporte económico del *layout*.

A. THROUGHPUT

- VALOR ECONÓMICO MARGINAL DEL *THROUGHPUT* ESTANDARIZADO. El tiempo de *throughput* del sistema se define como: El inverso de la producción diaria estándar, en dimensionales temporales corregidas. (La misma unidad de tiempo que el numerador)

$$V.E.M.T.E = P \cdot \left(\frac{T_p}{T_{abs}}\right) \ (28)$$

$$O_m = \left(\frac{1}{t_{std}}\right) \ (29)$$

$$T_T = \sum [O_m \cdot (V.E.M.T.E)] \ (30)$$

Donde T_p es el tiempo de *throughput* del producto,

t_{stdl} es el tiempo estándar de la correspondiente operación marginal en la estación de trabajo,

T_{abs} es el tiempo del *throughput* del sistema absoluto,

P es el precio de venta unitario,

O_m son las operaciones marginales.

B. INVENTARIO

$$I = \sum (MP + HE + EVE) \ (31)$$

1. MATERIA PRIMA. Parametrización económica de las distintas materias primas que componen un producto dentro de su proporción de valor agregado respecto al mercado y su percepción.

$$MP = \frac{\sum C}{O_{av}} \cdot \left(\frac{1}{t_{stdl-e}}\right) \ (32)$$

Donde, C es la sumatoria de costos de la materia prima que componen el producto asociado

O_{av} es el número de operaciones que se muestran en el DOP del producto y las mismas agregan valor,

t_{stdl-e} es el tiempo estándar de la estación asociada donde se utiliza la materia prima.

2. HERRAMIENTAS Y EQUIPO. Parametrización económica de herramientas y equipo se determina por medio del rendimiento operativo marginal desde el estado inicial del modelo hasta el estado final proyectado.

$$HE = \left(\frac{1}{t_{stdl-he}}\right)\left(1 - \frac{U_{he}}{T_{abs}}\right) \cdot C_{he} \ (33)$$

Donde, $t_{stdl-he}$ es el tiempo estándar de la herramienta y equipo,

U_{he} son las unidades procesadas por la herramienta,

T_{abs} es el *throughput* del sistema absoluto,

C_h es el costo de la herramienta.

3. ESPACIO VOLUMÉTRICO EFECTIVO. Es la proporción de la producción diaria estándar entre el espacio volumétrico tridimensional. Considerando factores óptimos de espacio en cada dimensión.

Volumen efectivo:

$$h = h_o + h_a \ (34)$$

$$l = l_o + max\{l_d|l_a\} \ (35)$$

$$w = w_o + max\{w_d|w_a\} \ (36)$$

$$V = (h_o + h_a) \cdot (l_o + max\{l_d|l_a\}) \cdot (w_o + max\{w_d|w_a\}) \ (37)$$

Donde h es la altura,

l es el largo,

w es el ancho,

el subíndice o es la medición inicial,

el subíndice d es la medición de diseño,

el subíndice a es la medición antropométrica

Costo volumétrico:

$$TEV_h = \left(\frac{t_{ev}}{t_{dt}}\right) \cdot W \ \text{ o } \ TEV_m = \left(\frac{t_{ev}}{t_{dt}}\right) \cdot [C_{mtv} + C_{or}] \ (38)$$

$$TEV = \{TEV_{h,} TEV_{m,}\} \ (39)$$

TEV_h es la tasa económica variable en caso sea un ser humano el que realiza el proceso de producción,

TEV_m es la tasa económica variable en caso sea una maquina la que realiza el proceso de producción,

W es el salario del recurso en el caso que sea un ser humano,

t_{ev} es el tiempo efectivo que el recurso se mantiene en el volumen correspondiente a costeo,

t_{dt} es el tiempo disponible de trabajo del recurso,

C_{mtv} es el costo de mantenimiento del volumen de trabajo,

C_{or} es el costo de operación del recurso.

$$CEA = \left[\left(TEF\left(\frac{w}{V}\right)\right) + \left(TEF\left(\frac{l}{V}\right)\right) + \left(TEF\left(\frac{h}{V}\right)\right)\right] \; (40)$$

CEA es el costo efectivo administrativo,

TEF es la tasa económica fija.

$$CEO = \left[\left(TEV\left(\frac{w}{V}\right)\right) + \left(TEV\left(\frac{l}{V}\right)\right) + \left(TEV\left(\frac{h}{V}\right)\right)\right] \; (41)$$

CEO es el costo efectivo operacional

$$C = CEO + CEA \; (42)$$

C es el costo volumétrico efectivo

$$EVE = \frac{\left(\frac{C}{t_{std}}\right)}{V} \; (43)$$

t_{std} es el tiempo estándar de la estación asociada al volumen

C. GASTO OPERATIVO

$$G = \sum (MTO + MOI) \; (44)$$

1. MANTENIMIENTO. Gasto de mantenimiento valuado al precio de venta.

$$MTO = \left[\left(\frac{W_{mt}}{T_{mt}}\right)\left(\frac{1}{t_{stdl-mt}}\right)\right] + \left[\left(\frac{t_{mt}}{t_{tu}}\right) \cdot (HE)\right] \;\; (45)$$

Donde W_o es el salario del recurso,

T_{mt} es el *throughput* entre mantenimientos,

t_{tu} es el tiempo de uso total de la herramienta,

t_{mt} es el tiempo de uso de la herramienta para el mantenimiento,

$t_{stdl-mt}$ es el tiempo estándar del mantenimiento

2. MANO DE OBRA INDIRECTA. Gasto de mano de obra indirecta en base al costo de la misma.

$$MOI = W_{moi}\left(\frac{T_{sup}}{T_{abs}}\right)\left(\frac{t_{sup}}{t_{tt}}\right)\ (46)$$

Donde W_{moi} es el costo de la mano de obra indirecta,

T_{sup} es el *throughput* bajo supervisión de la mano de obra indirecta,

T_{abs} es el *throughput* absoluto del sistema

t_{sup} es el tiempo supervisión de la mano de obra indirecta,

t_{ttt} es el tiempo total de trabajo

IX. ANÁLISIS BAYESIANO

Se relaciona cada rubro del modelo como una función de densidad de probabilidad.

A. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD DEL THROUGHPUT

El *troughput* sigue una función de densidad normal. Esto debido a que para los procesos de producción se utiliza generalmente acoplada a causa al teorema del límite central. Acorde a la jerarquía de funciones de densidad de probabilidad se utiliza una función de densidad de probabilidad normal como a priori ya que de esta forma la probabilidad a posteriori resulta en una función de densidad de probabilidad normal

$$X \sim N(\mu, \sigma^2) \rightarrow N\left(\frac{n\bar{x}}{n+w}, \frac{\sigma^2}{n+w}\right) \ (47) \qquad w = \frac{\sigma^2}{\sigma_m^2} \ (48)$$

$$\mu = \frac{n\bar{x}}{n+w} = \frac{w}{n+w}m + \frac{n}{n+w}\bar{x} \ (49)$$

De acuerdo con el análisis de los parámetros de la función el cual se descompone como un peso de ponderación de los datos multiplicado por su respectiva media sumada a la ponderación del prior multiplicado por su respectiva media. Según lo anterior se implementó el uso del tiempo estándar de las estaciones como variable de referencia del desglose de la media y desviación estándar. Aplicando las funciones respectivas en el conjunto de tiempos estándares para obtener los parámetros.

Debido a la forma de campana gaussiana de la función de distribución de probabilidad normal en el espectro del cuartil, para calcular el 95% de intervalo de credibilidad es necesario obtener la probabilidad respecto a un cuartil superior de 0.975 menos el cuartil inferior de 0.025 a manera de obtener el intervalo desplegado en el centro de la función de densidad de probabilidad. [23]

B. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD DEL GASTO OPERATIVO

Se acopla a una distribución exponencial ya que analiza el tiempo entre mantenimientos, así como los tiempos entre supervisión. Por la jerarquía de funciones de densidad se utiliza una función gamma como prior para que el posterior sea una distribución gamma posterior.

$$Y \sim EXP(\lambda) \rightarrow \Gamma(\alpha + 1, \beta + y) \ (50)$$

$$Media\ de\ gamma = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha + 1}{\beta + y} = \frac{\beta}{\beta + y} \cdot \frac{\alpha}{\beta} + \frac{n}{\beta + y} \cdot \frac{1}{n} \ (51)$$

El análisis de los parámetros de la función el cual se descompone como un peso de ponderación de los datos multiplicado por su respectiva media como la proporción entre alfa y beta sumada a la ponderación de la probabilidad a priori multiplicado por su respectiva media del inverso de las observaciones basados en α y β. Según lo anterior se implementó el uso del tiempo estándar de las estaciones como variable de referencia β del desglose y α como 1. Aplicando las funciones respectivas en el conjunto de tiempos estándares para obtener β.

El cálculo de los parámetros de un intervalo de credibilidad del 95% para una función de densidad de probabilidad exponencial está dado por

$$\left[\frac{\chi^2_{2n}(\alpha/2)}{2\sum_{i=1}^{n} X_i}, \frac{\chi^2_{2n}(1-\alpha/2)}{2\sum_{i=1}^{n} X_i}\right] \quad (52)$$

Donde X^2_{2n} es la distribución chi cuadrado,

α es 0.05 el nivel de significancia,

$\sum_{i=1}^{n} X_i$ es la sumatoria de los valores de la muestra. [24]

El cálculo de los parámetros de un intervalo creíble de 95% para una función de densidad de probabilidad gamma está dado por

$$\left[\frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{\alpha}, \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{\beta}\right] \quad (53)$$

Donde $\sum_{i=1}^{n} X_i$ es la sumatoria de los valores de la muestra,

β como el promedio de los tiempos estándar de las estaciones de trabajo,

α como 1. [25]

C. FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDAD DEL INVENTARIO

Se acopla a una distribución *poisson* ya que analiza tasa de llegadas de los distintos elementos del inventario. Por la jerarquía de funciones de densidad se utiliza una función gamma como probabilidad a priori para que la probabilidad posteriori sea una distribución gamma.

$$Y \sim POIS(\lambda) = \Gamma\left(\alpha + \sum y_i \,, \beta + n\right) \; (54)$$

$$Media\ de\ gamma = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha + \sum y_i}{\beta + n} = \frac{\beta}{\beta + n} \cdot \frac{\alpha}{\beta} + \frac{n}{\beta + n} \cdot \frac{\sum y_i}{n} \; (55)$$

El análisis de los parámetros de la función el cual se descompone como un peso de ponderación de los datos multiplicado por su respectiva media como la proporción entre alfa y beta sumada a la ponderación del prior multiplicado por su respectiva media como la proporción entre la sumatoria del valor de las observaciones y el número de datos basados en α y β. Según lo anterior se implementó el uso del tiempo estándar de las estaciones como variable de referencia α del desglose y β como 1. Aplicando las funciones respectivas en el conjunto de tiempos estándares para obtener α.

El cálculo de los parámetros de un intervalo de credibilidad del 95% para una función de densidad de probabilidad *poisson* está dado por

$$\left[\left(\lambda - 1.96 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{n}}\right), \left(\lambda + 1.96 \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{n}}\right)\right] \; (56)$$

Donde λ es la media Throughput de la estación asociada,

n es el número de observaciones de la muestra.

El cálculo de los parámetros de un intervalo de credibilidad del 95% para una función de densidad de probabilidad gamma está dado por

$$\left[\frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{\alpha}, \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{\beta}\right] \; (57)$$

Donde $\sum_{i=1}^{n} X_i$ es la sumatoria de los valores de la muestra,

α como el promedio de los tiempos estándar de las estaciones de trabajo,

β como 1. [25]

D. FAIR BET

Se planteó criterio de utilidad del valor económico esperado del *layout* como

$$Criterio\ de\ utilidad = [VELT \cdot P(VELT)] - \left[\left(VELGO \cdot P(VELGO)\right) + \left(VELI \cdot P(VELI)\right)\right] \quad (58)$$

Si el resultado del criterio de utilidad es cero, existe una tendencia a que la decisión sea neutra donde no se obtiene ningún valor económico. Si es positivo existe una tendencia a que la decisión le permita a la empresa generar utilidades. Si es negativo existe una tendencia a que la decisión le permita a la empresa generar pérdidas.

Debido a que dichos términos no son independientes e idénticamente distribuidos la probabilidad de cada uno de los rubros del valor económico esperado del *layout* no suma uno.

X. ESTRUCTURACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL ALGORITMO

A. ESTRUCTURACIÓN DEL INGRESO DE DATOS POR EL USUARIO EN EL ALGORITMO

El algoritmo de resolución fue programado en el lenguaje de programación R con su compilador RStudio, se eligió dicho lenguaje y programa debido a su facilidad de trabajo con las distribuciones estadísticas y cálculos estadísticos dentro del enfoque bayesiano. No se importó ninguna librería adicional, se trabajó únicamente con las configuraciones predeterminadas contenidas en RStudio.

1. TIPO DE VARIABLE UTILIZADA PARA EL ALMACENAMIENTO DE DATOS. Dentro de las opciones de tipo de variable para almacenamiento de datos en forma matricial no cuadrada, es decir *nxm*, se seleccionó list(). Esto debido a su facilidad para trabajar con lista de datos anidadas que no contienen la misma longitud de datos, así como su inicialización como lista vacía en espera de datos. Se consultaron opciones como arrays, matrices y vectores, sin embargo, contenían distintas limitaciones como restricción en anidación y tamaño cuadrado matricial (*nxn*).

Para la solicitud de datos al usuario se siguió el siguiente proceso:

1. Al tener un conjunto de variables con distintos parámetros repetitivos se utilizó un ciclo for inicializado en 1 hasta el número de objetos repetidos ingresado.
2. Con la función readline() se despliega un texto y capta el ingreso del usuario en el teclado almacenándolo en una variable temporal de tipo carácter.
3. En caso de una sucesión de datos se solicita al usuario que ingrese los valores separados por comas.
4. Si se ingresa la sucesión de datos se utiliza la función as.list() para convertirlo en tipo lista y sea aceptado posteriormente en la lista asignada. Por medio de la función strsplit() se separa el valor numérico de la coma, dicha función recibe como parámetros la variable y el separador. Se utilizó el parámetro de separador como “,”.
5. Una vez se separaron los valores se procedió a realizar un ciclo que recorriera los valores individuales. En caso de un único dato utilizando la función as.numeric() se convierte la variable de ingreso en numérica para posteriormente almacenarla en la lista en su posición correspondiente dadas por el contador del ciclo.

Debido a la composición de las distintas variables y su sub-compuestos se necesitó de ciclos tipo for anidados para recorrer los datos de una lista dentro de otra lista de distintos tamaños.

- Estaciones de trabajo
    - Recursos
    - Productos
        - Materia Prima
        - Herramientas y equipo
    - Mantenimiento
        - Herramientas y equipo utilizado en mantenimiento
    - Mano de obra indirecta

Desglose de la composición de variables.

2. DIAGRAMA DE INGRESO DE DATOS POR EL USUARIO EN EL ALGORITMO

Figura 11: Ciclo de ingreso de datos por el usuario en el algoritmo

B. CÁLCULO BASE DEL MODELO MATEMÁTICO EN EL ALGORITMO

Se realizó una sumatoria de las ecuaciones planteadas para en el modelo matemático por cada rubro del mismo. *Throughput*, gasto e inventario según el parámetro dominante de la composición de los antes mencionados. Esto con la finalidad de obtener un valor total por cada uno de los rubros y realizar la operación final:

$$Resultado\ del\ modelo = Throughput - Gasto\ operativo - \ Inventario\ (59)$$

Cada una compuesta de la siguiente forma:

$$Throughput = \sum\left[\left(\frac{1}{Tiempo\ estándar\ por\ estación}\right)\cdot\left(\frac{Throughput\ del\ producto}{Throughput\ absoluto\ del\ sistema}\right)\cdot Precio\ por\ producto\right]\ (60)$$

$$Inventario = \sum(Espacio\ volumetríco\ efectivo + \ Materia\ Prima + Herramienta\ y\ Equipo)\ \ (61)$$

$$Espacio\ volumétrico\ efectivo = \sum\left[\frac{\left(\frac{Costo\ volumétrico}{Tiempo\ estándar\ de\ la\ estación}\right)}{Volumen}\right]\ (62)$$

$$Materia\ Prima = \sum\left[\left(\frac{Costo\ de\ materia\ prima}{Operaciones\ que\ agregan\ valor}\right)\cdot\left(\frac{1}{Tiempo\ estándar\ estación\ del\ producto}\right)\right]\ (63)$$

$$Herramientas\ y\ equipo = \sum\left[\left(1-\frac{Troughput\ de\ herramienta}{Throughput\ absoluto}\right)\cdot\left(\frac{1}{Tiempo\ estándar\ herramienta}\right)\cdot Costo\ herramienta\right]\ (64)$$

$$Gasto = \sum(Mano\ de\ obra\ indirecta + \ Mantenimiento)\ \ (65)$$

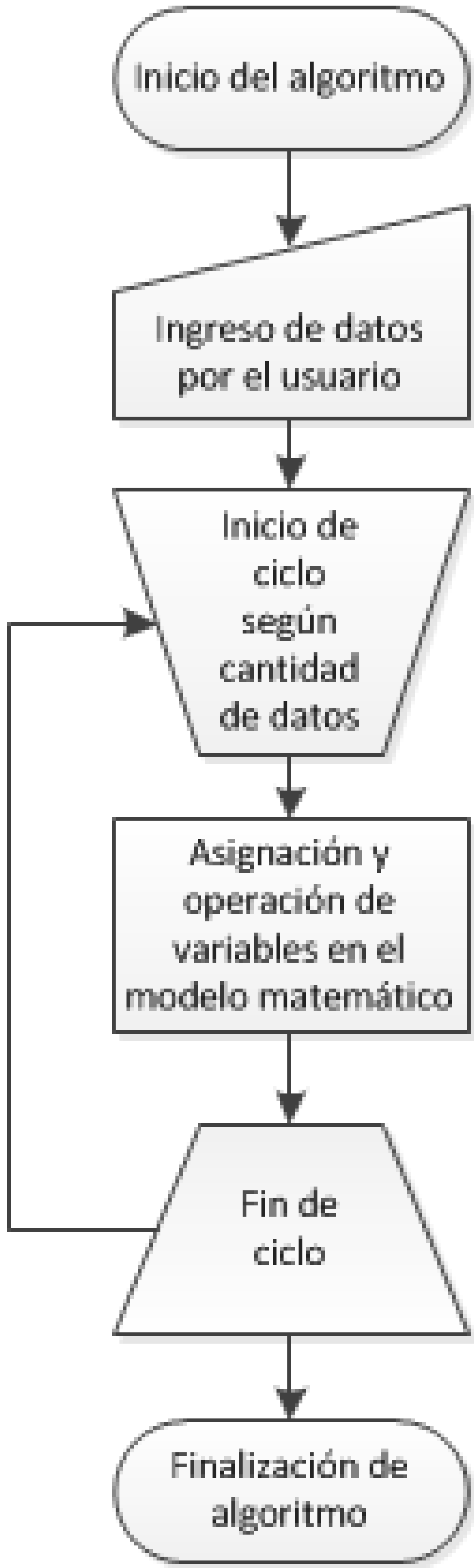
$$Mano\ de\ obra\ indirecta = \sum\left[Salario\ del\ recurso\cdot\left(\frac{Throughput\ durante\ supervisión}{Troughtput\ absoluto\ del\ sistema}\right)\cdot\left(\frac{Tiempo\ de\ supervisión}{Tiempo\ total\ de\ trabajo}\right)\right]\ (66)$$

$$Mantenimiento = \sum\left[\left(\frac{Salario\ del\ recurso}{Unidades\ entre\ mantenimientos}\right)\cdot\left(\frac{1}{Tiempo\ estandar\ mantenimiento}\right)\right.\ (67)$$

$$\left.+Herramientas\ y\ Equipo\cdot\left(\frac{Tiempo\ en\ mantenimiento}{Tiempo\ total\ de\ uso\ de\ la\ herramienta}\right)\right]\ (68)$$

Con cada compuesto del rubro se realiza por medio de ciclo for anidado el cálculo y este se agrega a una variable tipo numérica donde se suman los resultados para generar un solo valor.

Figura 12: Diagrama de flujo del algoritmo.



C. CÁLCULO DE PROBABILIDAD BAYESIANA EN EL ALGORITMO (A PRIORI)

Acorde al enfoque bayesiano la probabilidad de un evento relacionado se define como la multiplicación de las probabilidades entre la información observada dado una función de distribución de probabilidad y el prior, el cual se define la probabilidad de ocurrencia en una distribución de probabilidad.

Un intervalo de credibilidad se define como el área bajo la curva de la función de probabilidad mediante el parámetro de integración de cuartiles en dicha función. En R se calcula mediante la función *p"distribuciondeprobabilidad"()* la cual solicita los parámetros de cuartil y los de la función específica de la distribución. Por ejemplo, *pnorm* tiene como parámetros el cuartil, la media y la desviación estándar. Para calcular el 95% de intervalo de credibilidad en dicho ejemplo se encontró la probabilidad hasta el cuartil 0.975 y se resta la probabilidad del cuartil hasta 0.025.

D. CÁLCULO DE LOS VALORES ÓPTIMOS DEL MODELO MATEMÁTICO EN EL ALGORITMO

Se identificó el cuello de botella mediante max() en la lista de los tiempos estándares de las estaciones de trabajo para encontrar el mayor tiempo. Se asigna dicho tiempo a una variable numérica y se asigna la posición del contador del ciclo en otra variable numérica. Se solicitó el ingreso por el usuario de 3 valores clave:

- Precedencia de estaciones
- Distancia entre centroides de la precedencia de las estaciones
- Paso estándar de la materia prima en la distancia entre centroides antes mencionada.

Se procedió a comparar por medio de un ciclo que recorrió la lista de precedencias con los tiempos estándares de cada estación. Donde se seleccionaba un tiempo si tenía algún tipo de precedencia. Una vez seleccionados los tiempos estándares de las estaciones con precedencia se procedió a comparar el tiempo estándar de la estación con precedencia y el tiempo estándar del cuello de botella como se muestra en la ecuación:

$$Tiempo\ de\ procesamiento = Tiempo\ estandar\ estacion\ x - Tiempo\ estandar\ Cuello\ de\ botella \quad (69)$$

De igual forma se calculó el tiempo de transporte de materia prima por medio de la siguiente ecuación:

$$Tiempo\ de\ transporte\ de\ materia\ prima = \frac{Distancia\ entre\ centroides}{Paso\ estádar\ de\ la\ materia\ prima} \quad (70)$$

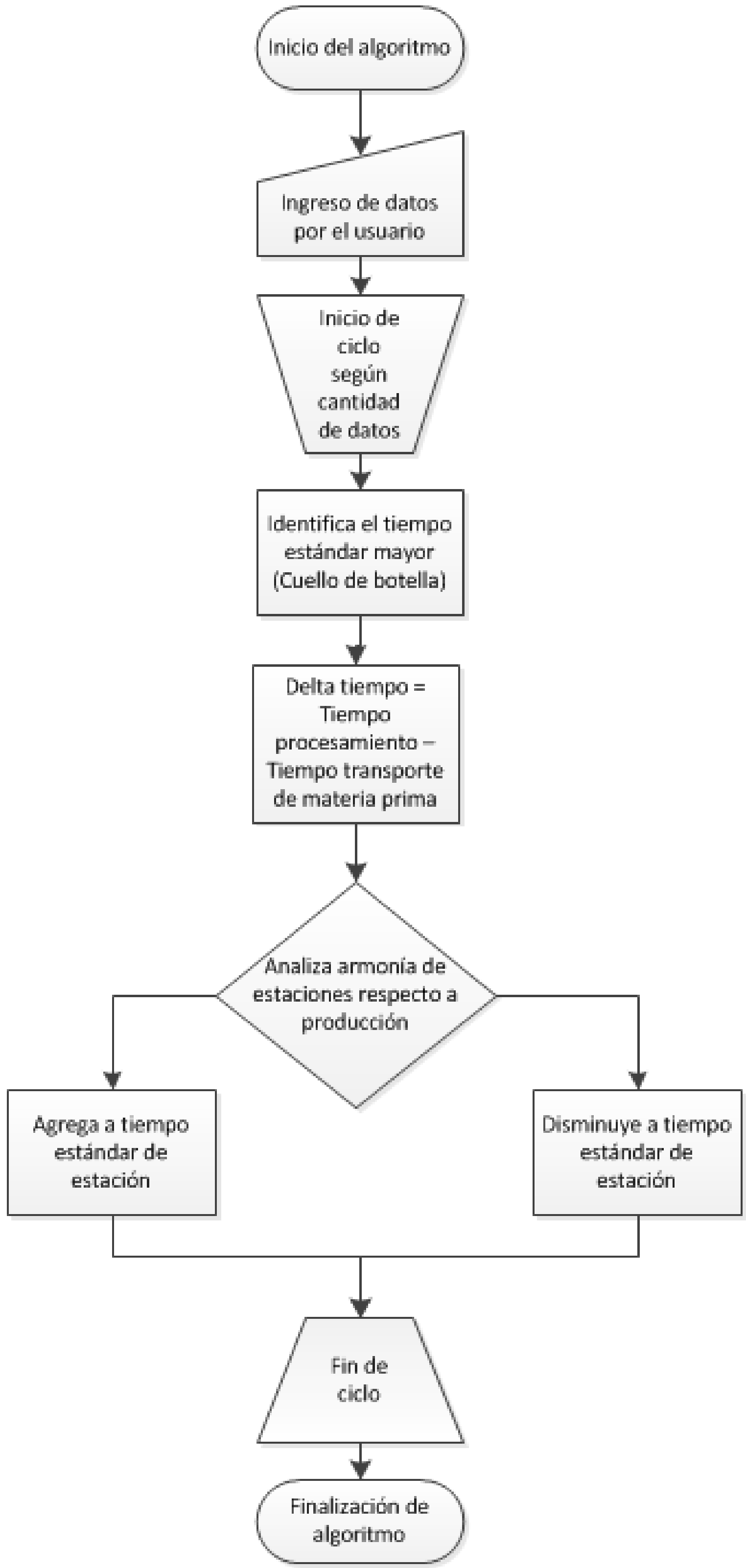
Finalmente, se calculó la tasa de cambio de tiempo estándar por medio de la diferencia entre los tiempos de procesamiento y de transporte de materia prima.

$$\Delta Tiempo = Tiempo\ de\ procesamiento - Tiempo\ de\ transporte\ de\ materia\ prima\ (71)$$

Al obtener dichos tiempos se recorre la lista de los tiempos estándares por estación y se compara con el tiempo estándar del cuello de botella, mediante una condicional se verifica si son iguales significando una armonía en el ritmo de producción. Al no contar con armonía se plantean dos escenarios de acción.

- Tiempo de transporte de materia prima es mayor al tiempo de procesamiento: Indica que para alcanzar la armonía del ritmo de producción se debe disminuir el tiempo de procesamiento al comprimir la distancia respectiva entre centroides. Mediante la tasa de cambio se le agrega al tiempo estándar de la estación de trabajo comparada con el cuello de botella.
- Tiempo de transporte de materia prima es menor al tiempo de procesamiento: Indica que para alcanzar la armonía del ritmo de producción se debe incrementar el tiempo de procesamiento al expandir la distancia respectiva entre centroides. Mediante la tasa de cambio se le agrega al tiempo estándar de la estación de trabajo comparada con el cuello de botella.

Figura 13: Diagrama de flujo del cálculo de valores óptimos del algoritmo.



E. CÁLCULO DE PROBABILIDAD BAYESIANA EN EL ALGORITMO (POSTERIORI)

Se siguió el mismo procedimiento para obtener la probabilidad a priori con la distinción que se utilizaron los valores óptimos del modelo matemático en el algoritmo para obtener la probabilidad a posteriori.

F. CÁLCULO DEL VALOR ECONÓMICO DEL LAYOUT ÓPTIMO

Finalmente se genera una nueva lista donde se substituyen los nuevos tiempos estándares de las estaciones respectivas y recalcula el modelo utilizando los nuevos valores en las variables correspondientes con lo cual se obtiene el óptimo del valor económico del *layout*.

XI. DEFINICIÓN DEL ALGORITMO PARA EL MODELO MATEMÁTICO

```
#------------------------------------------------------------Recorrido mediante un ciclo de las estaciones ingresadas por el usuario------------------------------------------------------------

for(i=1 to Stations){

#Verificación de dimensiones espaciales en la estaciones de trabajo

   if(Altura[i] == 0){ #En caso el usuario desee una valuación en 2 dimensiones únicamente

    Volumen[i] <- (Ancho*Largo)

   }else if(Altura[i] > 0){ #En caso el usuario desee aplicar una valuación de las 3 dimensiones

    Volumen[i] <- (Altura[i]*Ancho[i]*Largo[i])

   }

#------------------------------------------------------------Recorrido mediante un ciclo de los recursos ingresados por el usuario------------------------------------------------------------

   for(j=1 to Resources){

    Tasa_Economica_Fija <-Tasa_Economica_Fija + Costo_Fijo_Por_Recurso #Sumatoria de los costos por recurso para creación de la tasa económica fija

#------------------------------------------------------------Calculo de la  tasa económica variable------------------------------------------------------------

    Tasa_Economica_Variable <- Tasa_Economica_Variable + ((Tiempo_Efectivo_Estacion[i]/Tiempo_disponible_trabajo[i])*(Costo_Mantenimiento_del_Volumen[i]+Costo_Operacion_Recurso[i]+Salario_Recurso[i]))

   }

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

   Costo_Total_EspacioVolumetricoEfectivo <- Tasa_Economica_Fija + Tasa_Economica_Variable #Costo total del espacio volumétrico efectivo

   EspacioVolumetricoEfectivo <- EspacioVolumetricoEfectivo + (((Costo_Total_EspacioVolumetricoEfectivo)/(Tiempo_Estandar_Estaciones[i]))/Volumen[i]) #Calculo del espacio volumétrico efectivo

  }

#------------------------------------------------------------Localización del cuello de botella------------------------------------------------------------

Tiempo _Estandar_CuelloBotella <- funcion_maximo(Tiempo_Estandar_Estaciones) #Comprueba el tiempo estándar mayor dentro de todos los ingresados

if(Tiempo_Estandar_Estaciones[i] == Tiempo_EStandar_CuelloBotella){

     Localizacion_CuelloBotella <- i #Posición donde se encuentra dentro de la lista el cuello de botella

 }

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

  Nuevo_Tiempo_Estandar_Estacion <- Tiempo_Estandar_Estaciones #Asignación de los tiempos estándares ingresados a la lista de nuevos tiempos estándares
```

```
#------------------------------------------Recorrido mediante un ciclo de la materia prima ingresada por el usuario------------------------------------------
    for(k=1 to RawMaterial){
     Costo_MateriaPrima_Producto <- Costo_MateriaPrima_Producto + Vector_Costo_MateriaPrima_Producto[k] #Sumatoria para el costo total de las distintas materias primas
    }
#------------------------------------------Calculo de la materia prima en el estado x------------------------------------------
    for(w=1 to funcion_largo(Producto_MateriaPrima_Estacion)){
     if(i == Costo_MateriaPrima_Producto[w]){
      MateriaPrima <- MateriaPrima + (Costo_MateriaPrima_Producto/Operaciones_AgreganValor_Producto[i])*(1/Tiempo_Estandar_Estaciones[i])
     }
    }
#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
    Throghput_Absoluto <- Throughput_Absoluto + Throughput_Productos[i] #Sumatoria de throughput para obtener el absoluto del sistema en base a los productos
#------------------------------------------Asignación de productos a sus respectivas estaciones------------------------------------------
    for(x=1:funcion_largo(Estaciones_Productos)){
     if(i == Estaciones_Productos[[x]]){ #Verificación de productos por estación
      Tiempo_Estandar_EstacionporProducto <- Tiempo_Estandar_Estaciones[i]
     }
    Throughtput <- Throughput + ((1/Tiempo_Estandar_EstacionporProducto)*(Throughput_Productos[i]/Throughput_Absoluto)*(Precio_Productos[i])) #Calculo de las sumatorias de troughput por productos
    }
   }
#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
for(i=1 to Tools){
    Herramientas_Equipo <- Herramientas_Equipo + (1/Tiempo_Estandar_HerramientasEquipo[i])*(1-(Throughput_HerramientasEquipo[i]/Throughput_Absoluto))*(Costo_HerramientaEquipo[i])
#Cálculo de la sumatoria de las herramientas y equipo
   }
```

```
#----------------------------------------------------------------------------------------------------
for(i=1 to Mante){

    Mantenimiento <- Mantenimiento + ((Costo_Mantenimiento[i]/Unidades_Mantenimiento[i])*(1/Tiempo_Estandar_Mantenimiento[i])) + ((Herramientas_Equipo)*(Tiempo_Mantenimiento[i]/Tiempo_Total_Recurso[i]))

#Cálculo de la sumatoria de mantenimientos

  }
#----------------------------------------------------------------------------------------------------

for(i=1 to IndirectLabor){

    ManoObraIndirecta <- ManoObraIndirecta + ((Salario_MOI[i])*(Throughput_MOI[i]/Throughput_Absoluto)*(Tiempo_Supervision_MOI[i]/Tiempototal_Recurso_MOI[i]))


#Cálculo de la sumatoria de mano de obra indirecta

  }
#------------------------------------------OPERACION DEL MODELO BASE------------------------------------------

  Gasto <- Mantenimiento + ManoObraIndirecta) #Asignaciones a gasto

  Inventario <- (HEx + EVE + MPx) #Asignaciones a inventario

  Resultado_Modelo <- (Throughput - Gasto - Inventario) #Respuesta del modelo

#----------------------------------------------------------------------------------------------------
```

```
#---------------------------------------------------------------------OPTIMIZACION DEL MODELO---------------------------------------------------------------------
 for(i=1 to Stations){
  for(j=1 to funcion_largo(Precedencias_EstacionesporProducto)){
   if(i == Precedencias_EstacionesporProducto[j]){ #Verificación de precedencias de las estaciones
    Tiempo_Procesamiento[j] <- Tiempo_Estandar_CuelloBotella - Tiempo_Estandar_Estaciones[i] #Calculo de la diferencia de los tiempos de procesamiento y el tiempo del cuello de botella
    Tiempo_TransporteMaterial[j] <- ((DistanciaentreCentroides[j])/(Precedencias_EstacionesporProducto[j])) #Cálculo del tiempo estándar de trasporte de materia prima entre estaciones
    if(Tiempo_TransporteMaterial[j]!=Tiempo_Procesamiento[j]){ #Verificación de armonía del flujo del proceso
     if(Tiempo_TransporteMaterial[j]>Tiempo_Procesamiento[j]){
      DeltaTiempo_Estandar[j] <- Tiempo_TransporteMaterial[j] - Tiempo_Procesamiento[j] #Tasa de cambio entre los tiempos estándar de procesamiento y transporte
      Nuevo_Tiempo_Estandar_Estacion[i] <- Tiempo_Estandar_Estaciones[i] + DeltaTiempo_Estandar[j] #Optimización de Throughput y asignación a los nuevos tiempos estándares para iteración
     }else if (Tiempo_TransporteMaterial[j]>Tiempo_Procesamiento[j]){
      DeltaTiempo_Estandar[j] <- Tiempo_Procesamiento[j] - Tiempo_TransporteMaterial[j]
      Nuevo_Tiempo_Estandar[i] <- Tiempo_Estandar_Estaciones[i] - DeltaTiempo_Estaciones[j]
     }
    }
   }
  }
#----------------------------------------------------------------NUEVO ESPACIO VOLUMETRICO EFECTIVO----------------------------------------------------------------
  Optimizacion_EspacioVolumetricoEfectivo <- Optimizacion_EspacioVolumetricoEfectivo + ((CostoTotal_EspacioVolumetricoEfectivo/Nuevo_Tiempo_Estandar_Estacion[i])/Volumen[i])
#---------------------------------------------------------------------NUEVO MATERIA PRIMA---------------------------------------------------------------------
  for(w=1 funcion_largo(Materia_PrimaporProducto_Estacion)){
   for(z=1 to Products){
    if(i == Materia_PrimaporProducto_Estacion[[w]]){
     Optimizacion_MateriaPrima <- Optimizacion_MateriaPrima + ((Costo_MateriaPrima/OperacionesagreganValor_Productos[[z]])*(1/Nuevo_Tiempo_Estandar_Estacion[i]))
    }
   }
  }
```

```
#------------------------------------------------------------NUEVO THROUGHPUT TOTAL------------------------------------------------------------
  for(x=1 to fucion_largo(Estaciones_Productos)){
   if(i == Estaciones_Productos[[x]]){
    Nuevo_Tiempo_Estandar_Estacion_PorProducto <- Nuevo_Tiempo_Estandar_Estacion[i]
   }
   Optimizacion_Throughput <- Optimizacion_Throughput + ((1/Nuevo_Tiempo_Estandar_Estacion_PorProducto)*(Throughput_Productos[[x]]/Throughput_Absoluto)*(Precio_Productos[[x]]))
  }
 }
#------------------------------------------------------------NUEVO CALCULO DEL MODELO MATEMATIVO------------------------------------------------------------
 Optimizacion_Gasto <- Mantenimiento + ManoObraIndirecta
 Optimizacion_Inventario <- HerramientasEquipo + Optimizacion_EspacioVolumetricoEfectivo + Optimizacion_MateriaPrima
 Optimizaicion_Resultado_Modelo <- Opt_Throughput - Optimizacion_Gasto - Optimizacion_Inventario
```

```
#------------------------------------------------------------------------------------------- PROBABILIDAD DEL MODELO MATEMATICO (PRIOR)-------------------------------------------------------------------------------------------

Media_TiemposEstandar_Estaciones <- funcion_media(Tiempo_Estandar_Estaciones) #Media tiempos estándares por estación de trabajo de una lista

DesviacionEstandar_TiemposEstandar_Est <- funcion_DesviacionEstandar(Tiempo_Estandar_Estaciones) #Desviación estándar tiempos estándares por estación de trabajo

Varianza_TiemposEstandar_Estacion <- sqrt(Desviacion_Estandar_TiemposEstandar) #Variación tiempos estándares por estación de trabajo

Media_TiemposEstandar_Mantenimiento <- funcion_media(Tiempo_Estandar_Mantenimiento)

Cuartil_Inferior_Pois <- Media_TiemposEstandar_Estaciones - sqrt((Media_TiemposEstandar_Estaciones)/(funcion_largo(Tiempo_Estandar_Estaciones)))

Cuartil_Superior_Pois <- Media_TiemposEstandar_Estaciones + sqrt((Media_TiemposEstandar_Estaciones)/(funcion_largo(Tiempo_Estandar_Estaciones)))

Cuartil_Inferior_Gamma_Inventario <- (funcion_suma(Tiempo_Estandar_Estaciones))

Cuartil_Superior_Gamma_Inventario <- (funcion_suma(Tiempo_Estandar_Estaciones)/Media_TiemposEstandar_Estaciones)

Cuartil_Inferior_Gamma_Gasto <- (funcion_suma(Tiempo_Estandar_Mantenimiento)/Media_TiemposEstandar_Mantenimiento)

Cuartil_Superior_Gamma_Gasto <- ((funcion_suma(Tiempo_Estandar_Mantenimiento))/1)

ChiCuadrado <- funcion_qchisq(0.95, gradosdelibertad=funcion_largo(Tiempo_Estandar_Mantenimiento)) #Calculo de ChiCuadrado para posterior cálculo del cuartil exponencial

Cuartil_Inferior_Exponencial <- (ChiCuadrado*0.025)/(2*fucnion_suma(Tiempo_Estandar_Mantenimiento))

Cuartil_Superior_Exponencial <- (ChiCuadrado*0.975)/(2*funcion_suma(Tiempo_Estandar_Mantenimiento))

Probabilidad_Throughput <- absoluto(((pnorm(0.975, Media_Tiempos_Estandar_Estaciones, DesviacionEstandar_Tiempos_Estandar_Estaciones) - pnorm(0.025, Media_TiemposEstandar_Estaciones, DesviacionEstandar_Tiempos_Estandar_Estacion)) * (pnorm(0.975, Media_Tiempos_Estandar_Estaciones, DesviacionEstandar_Tiempo_Estandar_Estaciones) - pnorm(0.025, Media_Tiempo_Estandar_Estaciones, DesviacionEstandar_Tiempos_Estandar_Estaciones))))

#Función algorítmica pnorm() en R que devuelve la probabilidad de la función de densidad normal en base al cuartil entregado parámetros: pnorm(Cuartil, Media, DesviacionEstandar)

#Para encontrar la probabilidad con 95% de intervalo creíble acorde al enfoque bayesiano se debe restar el Cuartil superior - el Cuartil inferior para cubrir el 95% de la función de densidad en un intervalo.

Probabilidad_G <- abs(((pexp(Cuartil_Superior_Exponencial, Media_TiemposEstandar_Mantenimiento) - pexp(Cuartil_Inferior_Exponencial, Media_TiemposEstandar_Mantenimiento)) * (pgamma(Cuartil_Superior_Gamma_Gasto, 1, Media_TiempoEstaciones_Mantenimiento) - pgamma(Cuartil_Inferior_Gamma_Gasto, 1, Media_TiemposEstandar_Mantenimiento))))

#Función algorítmica pexp() en R que devuelve la probabilidad de la función de densidad exponencial en base al cuartil entregado parámetros: pexp(Cuartil, Lamda)

#Función pgamma() devuelve la probabilidad de la función de densidad gamma en base al cuartil entregado parámetros: pgamma(Cuartil, alfa, beta)

#Para encontrar la probabilidad con 95% de intervalo creíble acorde al enfoque bayesiano se debe restar el Cuartil superior - el Cuartil inferior para cubrir el 95% de la función de densidad en un intervalo.

Probabilidad_Inv <- abs(((ppois(Cuartil_Superior_Pois, Media_Tiempos_Estandar_Estaciones) - ppois(Cuartil_Inferior_Pois, Media_TiemposEstandar_Estaciones)) * (pgamma(Cuartil_Superior_Gamma_Inventario, Media_TiemposEstandar_Estaciones, 1) - pgamma(Cuartil_Inferior_Gamma_Iventario, Media_TiemposEstandar_Estaciones, 1))))

#Función algorítmica ppois() en R devuelve la probabilidad de la función de densidad poisson en base al cuartil entregado parámetros: ppois(Cuartil, Lamda)

#Función algorítmica pgamma() en R devuelve la probabilidad de la función de densidad gamma en base al cuartil entregado parámetros: pgamma(Cuartil, alfa, beta)

#Para encontrar la probabilidad con 95% de intervalo creíble acorde al enfoque bayesiano se debe restar el Cuartil superior - el Cuartil inferior para cubrir el 95% de la función de densidad en un intervalo.
```

```
#-------------------------------------------------------------PROBABILIDAD DEL MODELO OPTIMIZADO (POSTERIOR)-------------------------------------------------------------

Posterior_Media_TiemposEstandar_Estaciones <- funcion_media(Nuevo_Tiempo_Estandar_Estaciones) #Media nuevos tiempos estándares por estación de trabajo de una lista

Posterior_DesviacionEstandar_TiemposEstandar_Est <- funcion_DesviacionEstandar(Posterior_Tiempo_Estandar_Estaciones) #Desviación estándar tiempos estándares por estación de trabajo

Posterior_Varianza_TiemposEtandar_Estacion <- sqrt(Posterior_Desviacion_Estandar_TiemposEstandar) #Variación tiempos estándares por estación de trabajo

Posterior_Cuartil_Inferior_Pois <- Posterior_Media_TiemposEstandar_Estaciones - sqrt((Posterior_Media_TiemposEstandar_Estaciones)/(funcion_largo(Nuevo_Tiempo_Estandar_Estaciones)))

Posterior_Cuartil_Superior_Pois <- Posterior_Media_TiemposEstandar_Estaciones + sqrt((Posterior_Media_TiemposEstandar_Estaciones)/(funcion_largo(Nuevo_Tiempo_Estandar_Estaciones)))

Posterior_Cuartil_Inferior_Gamma_Inventario <- (funcion_suma(Nuevo_Tiempo_Estandar_Estaciones))

Posterior_Cuartil_Superior_Gamma_Inventario <- (funcion_suma(Nuevo_Tiempo_Estandar_Estaciones)/Posterior_Media_TiemposEstandar_Estaciones)

Posterior_Probabilidad_Throughput <- absoluto(((pnorm(0.975, Posterior_Media_Tiempos_Estandar_Estaciones, Posterior_DesviacionEstandar_Tiempos_Estandar_Estaciones) - pnorm(0.025, Posterior_Media_TiemposEstandar_Estaciones, Posterior_DesviacionEstandar_Tiempos_Estandar_Estacion)) * (pnorm(0.975, Posterior_Media_Tiempos_Estandar_Estaciones, Posterior_DesviacionEstandar_Tiempo_Estandar_Estaciones) - pnorm(0.025, Posterior_Media_Tiempo_Estandar_Estaciones, Posterior_DesviacionEstandar_Tiempos_Estandar_Estaciones))))

#Función algorítmica pnorm() en R que devuelve la probabilidad de la función de densidad normal en base al cuartil entregado parámetros: pnorm(Cuartil, Media, DesviacionEstandar)

#Para encontrar la probabilidad con 95% de intervalo creíble acorde al enfoque bayesiano se debe restar el Cuartil superior - el Cuartil inferior para cubrir el 95% de la función de densidad en un intervalo.

Posterior_P_Inv <- abs(((ppois(Posterior_Cuartil_Superior_Pois, Posterior_Media_Tiempos_Estandar_Estaciones) - ppois(Posterior_Cuartil_Inferior_Pois, Posterior_Media_TiemposEstandar_Estaciones)) * (pgamma(Posterior_Cuartil_Superior_Gamma_Inventario, Posterior_Media_TiemposEstandar_Estaciones, 1) - pgamma(Posterior_Cuartil_Inferior_Gamma_Iventario, Posterior_Media_TiemposEstandar_Estaciones, 1))))

#Función algorítmica ppois() en R devuelve la probabilidad de la función de densidad poisson en base al cuartil entregado parámetros: ppois(Cuartil, Lamda)

#Función algorítmica pgamma() en R devuelve la probabilidad de la función de densidad gamma en base al cuartil entregado parámetros: pgamma(Cuartil, alfa, beta)

#Para encontrar la probabilidad con 95% de intervalo creíble acorde al enfoque bayesiano se debe restar el Cuartil superior - el Cuartil inferior para cubrir el 95% de la función de densidad en un intervalo.
```

XII. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

Se consideró que para cualquier usuario es importante seguir una guía que permita desarrollar los puntos críticos de este proyecto para la utilización del modelo matemático propuesto. Primero se determinaron los puntos críticos que plantea la metodología propuesta para que cualquier proceso industrial la ejecute.

A. PUNTOS CRÍTICOS METODOLÓGICOS DEL PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

1. ESTUDIO DE MERCADO Y ESTRATEGIAS EMPRESARIALES. El punto crítico inicial se compone de la metodología para realizar un estudio de mercado estadísticamente respaldado. Puede utilizar la base tradicional de enfoque estadístico de análisis de frecuencias para plantear una proyección de demanda. La determinación del precio y la cuantificación de percepciones para determinar los aspectos que agregan valor al producto según el cliente. Además, es de suma importancia relacionar estos aspectos con los atributos del producto, para que, en un proceso de reingeniería, se pueda determinar qué procesos son los que aportan a la construcción de dichos atributos. Luego de este análisis, y de tener identificados los procesos que aportan a la construcción de atributos que agregan valor ante la percepción del cliente, se puede proceder al posterior análisis de costos y ahorros de métodos de ingeniería tradicionales.

En el punto crítico administrativo es importante identificar los procesos indirectos y generales que apoyan el sistema de producción del negocio nuclear de la empresa. Algunos ejemplos de este punto crítico son los supervisores en planta, revisores o inspectores de calidad y cualquier trabajo indirecto que de forma variable ocupa un lugar y un proceso en el sistema de producción.

2. PROCESOS INDUSTRIALES DE PRODUCCIÓN O MANUFACTURA. Desde el punto de vista de los procesos de producción los principales puntos, para la implementación de la metodología propuesta en este proyecto de investigación, convergen en el análisis de procesos. Es por ello que, como punto crítico, un estudio de tiempos bajo los principios de ingeniería de métodos, debe ser la base de cualquier planteamiento de indicadores de producción.

Una vez estandarizados los tiempos con sus respectivos supuestos y requisitos, es necesario el desarrollo de una estructura analítica de indicadores como: tiempos de espera, de fila, tiempos muertos, tiempos de preparación, y los correspondientes tiempos de ciclo, corrida y procesamiento.

También es importante que se determine una política de tiempos de mantenimiento, estrategias de control estadístico de procesos, herramientas de MRP y la respectiva política de inventarios.

Por último, en los puntos críticos de procesos de producción es muy importante un análisis de balance de líneas para utilizar los criterios resultantes en el ingreso de datos al modelo matemático. Considerar bajo este método la interacción de interdependencia de estaciones de trabajo no solamente por precedencias de procesos, sino que también por distintos tipos de productos. Además, se debe, a partir del anterior análisis, cuantificar y definir los recursos en cada operación y estación de trabajo para cada proceso.

3. ECONOMÍA Y CONTABILIDAD. En el umbral del análisis económico el punto crítico se desarrolla en el marco contextual del análisis de mercado. Para ello es importante determinar los precios en base al estudio de mercado además de la elasticidad precio de la demanda para conocer la sensibilidad del mercado. A partir del análisis de datos que provee el estudio de mercado y el análisis de procesos bajo el umbral de la teoría de restricciones se procede a una clasificación contable de los elementos del proceso de producción que afectan el *throughput*, el inventario y los gastos operativos.

Otro punto crítico en este aspecto es la correspondiente determinación de salarios y costos variables para cada operación, estación de trabajo o proceso. Estos deben involucrar lo planteado en el modelo matemático y buscar la consistencia en el análisis económico del mismo. La definición y detalle de perfiles de puestos es un compuesto clave para que, en coherencia con el sistema de indicadores de procesos y principios contables, se traduzca en acciones concretas dentro del proceso de producción.

4. ERGONOMÍA Y ANTROPOMETRÍA. Además del análisis de procesos y sistemas de la estrategia, el mercado y la producción se plantea como punto crítico el análisis de micromovimientos. A partir de dichos estudios se puede obtener una muestra de las dimensiones de las estaciones de trabajo con datos antropométricos y sistemas de análisis ergonómicos. La metodología recomendada para dichos sistemas analíticos depende del tipo de puesto de trabajo que cada estación maneja. Según dichos puestos de trabajo se puede analizar con métodos de ergonomía distintos dependiendo del tipo de riesgo que cada uno representa.

5. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA (*LAYOUT*) Y MACROMOVIMIENTOS. El punto crítico identificado complementario a los anteriores se ubica en los métodos de estudios de macromovimientos y manejo de materiales por medio de flujos de procesos. Se requiere determinar las distancias entre estaciones de trabajo por medio de mediciones de los puntos de referencia a los principios de distribución en planta y diagramas de recorrido. También se necesita determinar, mediante estudios de tiempos estandarizados, el paso estándar de todo el diagrama de recorridos. Este aspecto es importante para obtener datos estándar según los riesgos de accidentes industriales, ergonómicos, salud e higiene en procesos, etc. [26]

B. ESTÁNDARES SELECCIONADOS PARA LA PRUEBA PILOTO

Se utilizaron datos de una empresa dedicada al ensamble de ventiladores (producto ficticio) en Guatemala que será nombrada para este proyecto de investigación: Ventiladores S.A (nombre ficticio). Dicha empresa solicitó que no se indicara su identidad para mantener una confidencialidad pues los datos que se seleccionaron eran, en algunos casos, los que manejan para su operación. Además, algunos valores como se indica en la Tabla 1 son valores estandarizados que la empresa no tenía cuantificados al momento de la recolección de datos para esta prueba piloto. Es importante mencionar que dichos datos a pesar de afectar el resultado final del modelo matemático ingresado al algoritmo conservaron su razón proporcional por lo que la validez del ejemplo se conserva.

Tabla 1: Muestra de datos utilizados para la prueba piloto

VARIABLE DE ANÁLISIS	DATO RECOLECTADO	EJEMPLO
Número de estaciones de trabajo	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	8 estaciones
Throughput de estaciones de trabajo	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A. pero modificado por confidencialidad	147 unidades al día
Tiempos estándar	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	1.4 min/u
Cantidad de productos	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	1 producto
Dimensiones de estación de trabajo	Estándar de estación de trabajo promedio en industria de ensambles [27]	2x1.5x1 m
Cantidad de recursos por estación de trabajo	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	1 operario
Salario de recurso por estación de trabajo	Salario mínimo en Guatemala [28]	Q. 86.90
Costo de mantenimiento por área de cada estación de trabajo	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	Q. 59.25 /área
Costos de operación	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.*	Q.55.00 /día
Costos fijos	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.*	Q. 7.00 /día
Tiempos efectivos de trabajo por recurso	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.**	460 min/día
Tiempo disponible de trabajo por recurso	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	480 min/día
Tiempo de uso de las herramientas empleadas en el mantenimiento	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	15 min/día

Continuación Tabla 1		
VARIABLE DE ANÁLISIS	**DATO RECOLECTADO**	**EJEMPLO**
Precio por producto	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.*	Q.100.00/u
Número de estaciones que agregan valor al producto	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	7 estaciones
Precedencia entre operaciones por producto	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	Estación 3 depende de la estación 1 y 2.
Distancia entre centroides	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	8 metros
Paso estándar entre centroides	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.***	1.34 m/s
Cantidad de materia prima	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.*	3 tipos distintos
Costo de materia prima	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.*	Q. 3.00 por unidad
Cantidad de herramientas utilizadas en producción	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	2 herramientas por estación
Tiempo estándar de herramientas	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	2 min/u
Costo de herramientas	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.*	Q.80.00
Número de mantenimientos diarios	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	1 mantenimiento
Tiempo estándar de mantenimientos	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	15 min/día
Unidades trabajadas entre mantenimientos	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	147 unidades
Costo de mantenimiento	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.*	Q.45.00/día

Continuación Tabla 1		
VARIABLE DE ANÁLISIS	**DATO RECOLECTADO**	**EJEMPLO**
Tiempo total de uso de herramientas	Obtenido de la empresa Ventiladores S.A.	465 min
Mano de obra indirecta en producción	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	2 recursos
Salario mano de obra indirecta	Salario mínimo en Guatemala [28]	Q. 86.90
Throughput bajo supervisión de mano de obra indirecta	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	73 unidades/día
Tiempo de supervisión de mano de obra indirecta	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	400 min/día
Tiempo total de trabajo de mano de obra indirecta	Obtenido de la empresa de Ventiladores S.A.	480 min/día

*****Dato modificado con factor proporcional

**Incluye Cálculo de Holguras

***Paso estándar calculado puesto que la empresa no contaba con dicha información

En la Tabla 1 se presentan algunos ejemplos de datos calculados, datos obtenidos por la empresa Ventiladores S.A, datos estandarizados, y datos alterados por factores que modifican la proporcionalidad. El resto de datos fueron ingresados al algoritmo y se presenta el detalle de ingreso de datos en el Anexo 2.

Para el cálculo de holguras se recomienda, en la implementación, utilizar técnicas de estándares de tiempos como el modelo de predicción de Garg y la ecuación de Murrell. [29] Mientras para el paso estándar se puede utilizar un cálculo de velocidad promedio en caso de montacargas y otros transportes mecanizados o automatizados. Para el paso estándar de manejo de materiales por medio de contenedores que permiten la carga unitaria por un operario puede utilizarse el estudio de tiempos por muestreo de trabajo. [30]

C. SUGERENCIAS PARA EL USO DEL ALGORITMO Y DEL MODELO MATEMÁTICO

Es importante que el usuario, después de analizar los puntos críticos considere que las relaciones aritméticas y dimensionales del modelo matemático. Después de realizar diversas pruebas con los datos presentados en el Anexo 2, el modelo presenta la variable de tiempo estándar local como la más sensible para afectar el resultado de la ecuación principal. Esto significa que el usuario debe considerar lo presentado en la metodología para realizar los estudios de tiempos y movimientos para la estandarización de procesos. Estos tiempos deben estar en la misma unidad dimensional que el resto de tiempos estándar sea local o absoluto.

1. SUGERENCIAS PARA EL *THROUGHPUT.*

El ingreso del precio de venta de cada producto debe estar en las mismas unidades monetarias que el costeo presentado en la metodología. El *throughput* local y absoluto debe calcularse mediante la relación de cada recurso y estación de trabajo con el cuello de botella. El indicador que se recomienda observar en la toma de datos, como se hizo para la prueba piloto, es el tiempo de ciclo y compararlo con el tiempo de procesamiento (considerando el tamaño de lote). Bajo esta premisa el tiempo de ciclo sería el inverso de la producción cíclica estándar del cuello de botella multiplicado por el tiempo disponible en la jornada laboral.

El factor del precio de venta deberá el usuario utilizar lo presentado en la metodología. Esto es para que considerando la elasticidad precio de la demanda y la variabilidad de precio proyectado en un horizonte temporal según el estudio de mercado y los datos respalden.

2. SUGERENCIAS PARA EL INVENTARIO.

El factor más importante en el inventario, a considerar, es el espacio volumétrico efectivo. En este factor se encuentra el tiempo estándar local que al sumarlo con el resto de estaciones de trabajo se pondera un valor económico que permite cuantificar el costo variable que éste representa. Es recomendable que el usuario considere la diferencia planteada en la metodología en la página 30. Esto se debe a que los principios de contabilidad generalmente aceptados determinan el costo en el estado de resultados de diferente manera a como la clasificación de la teoría de restricciones para el inventario.

El material o materia prima en el estado variable a lo largo del proceso representa el otro factor relevante en el inventario. En este factor se encuentra también el tiempo estándar local. Son estos dos factores los que junto al cálculo de operaciones que agregan valor al producto los que modifican el valor monetario de la materia prima, y por ende del inventario. Es por ello que lo más recomendable para el usuario al ingresar los datos del inventario es revisar los resultados del estudio de mercado. Según esto, respaldar la decisión de análisis de valor agregado sobre una base estadísticas concreta y no solamente impresiones no respaldadas.

3. SUGERENCIAS PARA EL GASTO OPERATIVO. Para la implementación del modelo matemático, es importante el ingreso de datos respaldados en el gasto operativo. Es por ello que se sugiere al usuario utilizar el estudio de tiempos predeterminados *MOST* o *MODAPTS* para el cálculo de tiempos de mantenimiento, trabajo indirecto y general de producción. [31] El costo de mantenimiento debe ir en términos de área para la sección del inventario (espacio volumétrico efectivo) pero en términos de tiempo para el componente de mantenimiento de recursos en el gasto operativo. De nuevo es importante evaluar las unidades dimensionales para asegurar el resultado coherente del modelo matemático.

4. SUGERENCIAS PARA EL ALGORITMO. Para la implementación del algoritmo se recomienda que el usuario se familiarice con las funciones predeterminadas de R y Rstudio para la correcta interpretación y uso del algoritmo. Se recomienda evitar:

- Espacios
- Caracteres adicionales

También separar por comas cualquier dato que lo demande y la utilización de decimales deberá ser con punto y no coma.

5. SUGERENCIAS PARA EL ANÁLISIS PROBABILÍSTICO. Para el usuario es muy importante que comprenda las bases del análisis bayesiano de estadística condicional, inferencial y probabilística. Los conceptos clave que se recomienda profundizar se encuentran en el Anexo 1:

- Comprender el cálculo de las posibilidades ponderadas de los ingresos (*throughput*) y la resta correspondiente de los egresos (inventario y gastos operativos) con sus respectivas probabilidades para analizar la neutralidad del criterio de utilidad.
- Distribuciones de probabilidad para procesos de producción (Distribución normal con inferencia bayesiana)
- Distribuciones de probabilidad para gastos operativos indirectos como el mantenimiento (Distribución exponencial para tiempo transcurrido entre mantenimientos)
- Distribuciones de probabilidad para el Inventario como entrada de materia prima (Distribución de Poisson para la tasa de llegadas aleatorizada)
- Teorema de Bayes para el planteamiento de probabilidades condicionales dado una probabilidad a priori.
- El proceso de actualización de la probabilidad a posteriori con la probabilidad a priori anterior para recursivamente obtener una función de probabilidad óptima (a la que la primera derivada respecto a la probabilidad de la función del teorema de Bayes se hace cero).

D. CONSIDERACIÓN DE FACTORES ECONÓMICOS SOCIO-CULTURALES Y AMBIENTALES

Se consideraron todos los valores monetarios dentro de un sistema de producción y se clasificaron como *throughput*, inventario y gasto operativo. En los aspectos socio-culturales se tomó en cuenta el organigrama de la empresa y se limitó a todo lo que involucra los rubros antes mencionados. Bajo esta consideración de los aspectos socio-culturales internos a la empresa, se clasificó la mano de obra como directa e indirecta. Sin embargo, como se observa en el anexo 3, el reflejo económico de los salarios de la mano de obra directa e indirecta no se diferenció para la empresa Ventiladores, S.A. Finalmente, los factores ambientales se expresan en todas las consideraciones de la distribución en planta y se deben agregar a los recursos auxiliares como, por ejemplo: aire comprimido, agua, vapor, tipos de energía, etc. Estos factores sí se ven reflejados en el gasto operativo tanto en el mantenimiento como en el ajuste del *layout* en el valor económico esperado del modelo óptimo.

XIII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de realizar la prueba según se planteó en la sección del plan de implementación, se hallaron los siguientes valores presentados en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados de la prueba piloto del plan de implementación del modelo matemático ingresado al algoritmo

Z (Resultado del modelo matemático)*	*Throughput**	Gasto Operativo*	Inventario*
-295.42	50	67.88	277.54

*Todos los resultados expuestos por el algoritmo al evaluar el modelo matemático están en unidades monetarias entre unidades temporales.

Se observa que bajo el resultado del modelo matemático las unidades monetarias por unidad de tiempo son negativas en magnitud de 295.42. Esto significa que ante el *throughput* producido la tasa de inventario y gasto operativo superan en 295.42 unidades monetarias por unidad de tiempo. Es importante mencionar que el precio de venta y la producción diaria estándar fueron las variables más impactantes en el *throughput*, ante el tiempo estándar que se calculó, como se planteó en la sección del plan de implementación. Mientras que en el gasto operativo el mantenimiento por área de trabajo fue el de mayor impacto en el resultado del modelo matemático. Por el tipo de producto se demandaba un control de limpieza en Ventiladores S.A por estación de trabajo cuyo costo de Q.59.25 por espacio volumétrico de las estaciones de trabajo.

Finalmente, en el inventario los factores que más impactaron ante el tiempo estándar fueron los costos de herramientas y equipo, y el costo del espacio volumétrico. Esto a diferencia de un costeo bajo los principios de contabilidad generalmente aceptados en un estado de resultados es mucho mayor que lo que el modelo matemático calcula. Sin embargo, es muy importante recordar, y se concluye de estos resultados, que el objetivo de este modelo es cuantificar el efecto de una distribución de planta (*Layout*) en su correspondiente proceso y su principal indicador el tiempo estándar de producción.

A pesar una empresa pueda, en el estado de resultados tener utilidades y no pérdidas, potencialmente como lo indica el modelo matemático el proceso podría aumentar sus utilidades si optimiza el *layout*.

Después el algoritmo presenta las probabilidades para un intervalo de credibilidad del 95% resaltadas en la Tabla 3.

Tabla 3: Probabilidades para un intervalo de credibilidad del 95% para cada resultado de *Throughput*, Inventario y Gasto Operativo utilizado como Prior en el resultado óptimo.

*Throughput**	Gasto Operativo*	Inventario*
6.27%	0%**	0.05%

*Las tres probabilidades se presentan en porcentaje no en decimal.

**Probabilidad aproximada

Es importante resaltar el intervalo de credibilidad calculado para el 95% que se presenta en el marco teórico como intervalo de probabilidad bayesiano. En un 95% de probabilidad la ocurrencia de un evento se encuentra en un cuartil que cubre el 95% de la función de densidad de probabilidad. Este concepto lleva a la interpretación de que el *throughput* y su resultado (de 50 unidades monetarias entre unidades temporales) con la probabilidad de 6.27%, se encuentra en el cuartil que abarca el 95% de la función de densidad de probabilidad de la distribución normal con un intervalo de probabilidad del 95%.

De la misma forma el gasto operativo tiene una probabilidad de 0%, que en realidad responde a un valor muy cercano a cero con $2.45x10^{-5}$ %. La razón de que la probabilidad sea cercana a 0% es porque los mantenimientos por área de trabajo, solo se asocian a un dato según el estudio obtenido de la empresa Ventiladores S.A. Esto significa que el resultado del valor económico del gasto operativo del *layout* en el proceso es de 67.88 con una probabilidad de $2.45x10^{-5}$ % que se encuentra en el cuartil que abarca el 95% de la función de densidad de probabilidad de la distribución Exponencial con un intervalo de probabilidad del 95%. Tal como se presentó en la sección del análisis probabilístico según condiciones de estadística Bayesiana.

Finalmente, el inventario tiene una probabilidad de 0.05% de que el resultado del valor económico del inventario sea de 277.54. Y que este 0.05%, este en el cuartil que abarca el 95% de la función de densidad de probabilidad de la distribución de Poisson con un intervalo de probabilidad del 95%. Como se explicó en la sección del análisis probabilístico según condiciones de estadística Bayesiana, se utilizó una distribución de Poisson por la tasa de llegadas del inventario. Dicho inventario en sus expresiones planteadas, de la sección del modelo matemático, arriba al espacio volumétrico con una distribución de Poisson con un parámetro lambda (λ) de llegadas.

Tabla 4: Valor Económico del *Layout* óptimo de la prueba piloto del plan de implementación del modelo matemático ingresado al algoritmo

Z (Valor económico del Layout)*	*Throughput**	Gasto Operativo*	Inventario*
-152.13	119.04	67.88	203.25

*Todos los resultados expuestos, incluyendo el Valor Económico del *Layout*, por el algoritmo al evaluar el modelo matemático están en unidades monetarias entre unidades temporales.

En la Tabla 4 se presenta el Valor Económico del *Layout* óptimo luego de redistribuir el *Layout*. Se puede observar que el resultado del valor económico se redujo en valor absoluto resultando en una menor influencia negativa del Layout en el proceso de producción. La mejora significa que la influencia del *Layout* por desperdicio en valor agregado se redujo permitiendo que la ganancia operativa en un sistema contable aumente reflejado en un estado de resultados.

El *throughput* aumentó a 119.04 unidades monetarias sobre unidades temporales esto se debe a que el tiempo estándar se redujo por la disminución de atrasos en el flujo de proceso al reducir y aumentar distancias que redujeron el inventario. Además, el gasto operativo se conservó igual a la primera corrida del algoritmo, esto se debe a que el gasto operativo no se encuentra en términos del tiempo estándar y los demás factores de ponderación del gasto no se modificaron. El inventario como se mencionó anteriormente si se redujo a 203.25 unidades monetarias sobre unidades temporales reflejando la reducción del tiempo estándar y de inventario de materia prima por la reducción posiblemente de tiempos de fila y espera al programar las llegadas de la misma justo a tiempo para su procesamiento en la siguiente estación de trabajo.

Tabla 5: Probabilidades para un intervalo de credibilidad del 95% de cada resultado de *Throughput*, Inventario y Gasto Operativo del Valor Económico del *Layout* óptimo

Throughput*	Gasto Operativo*	Inventario*
49.18%	0.00018%	0.07%

*Las tres probabilidades se presentan en porcentaje no en decimal.

El *throughput* y su resultado óptimo de 119.04 unidades monetarias entre unidades temporales aumenta su probabilidad de 6.27% a 49.18% y que este valor se encuentra en el cuartil que abarca el 95% de la función de densidad de probabilidad de la distribución normal con un intervalo de probabilidad del 95%.

De la misma forma el gasto operativo tiene una probabilidad de 0.00018%, que en realidad responde a un valor muy cercano a cero, pero mayor a $2.45x10^{-5}$ %. La razón de que la probabilidad sea cercana a 0% de nuevo es porque los mantenimientos por área de trabajo, solo se asocian a un dato según el estudio obtenido de la empresa Ventiladores S.A. Esto significa que el resultado del valor económico del gasto operativo del *layout* en el proceso es de 67.88 con una probabilidad de 0.00018% que se encuentra en el cuartil que abarca el 95% de la función de densidad de probabilidad de la distribución exponencial con un intervalo de probabilidad del 95%.

El inventario tiene una probabilidad de 0.07% de que el resultado del valor económico del inventario sea de 203.25. Y que el aumento de 0.05% a 0.07%, para el nuevo valor éste en el cuartil que abarca el 95% de la función de densidad de probabilidad de la distribución de *poisson* con un intervalo de probabilidad del 95%.

A. CRITERIO DE UTILIDAD DE LOS RESULTADOS

El criterio de decisión de utilidad se planteó en base a las probabilidades del intervalo de credibilidad del 95%. El planteamiento de dicho criterio se sigue a continuación:

$$Criterio\ de\ Utilidad = VELT * P(VELT) - VELGO * P(VELGO) - VELI * P(VELI) \quad (72)$$

VELT = Valor Económico de *Layout* del *Throughput*

VELGO = Valor Económico de *Layout* del Gasto Operativo

VELI = Valor Económico de *Layout* del Inventario

P(VELT) = Probabilidad del Valor Económico de *Layout* del *Throughput*

P(VELGO) = Probabilidad del Valor Económico de *Layout* del Gasto Operativo

P(VELI) = Probabilidad del Valor Económico de *Layout* del Inventario

Como se mencionó anteriormente se ingresaron los datos resultantes de la prueba piloto de las Tablas 1 y 2 produciendo un criterio de utilidad como sigue:

$$Criterio\ de\ Utilidad = 50 * 0.06 - 67.88 * 0 - 277.54 * 0.0005 = 2.861$$

El criterio de utilidad para la prueba piloto en base a los datos recolectados y presentados en el Anexo 2 es 2.861. Al resultar un valor positivo en el criterio de utilidad se muestra que a pesar de que el Valor Económico esperado del *Layout* es -295.2, una pérdida, la empresa obtiene utilidades. Además, que el negocio es rentable, pero con posibilidad de aumentar la utilidad con modificaciones en el *layout* en una probabilidad del 95% de intervalo de credibilidad. La pérdida de -295.2 como Valor Económico esperado del *Layout* expresa la relación de proporcionalidad inversa entre el *layout* y el proceso de producción.

Al evaluar la probabilidad a priori y la probabilidad de mejora dado el cambio de *layout* para el algoritmo planteado el criterio de utilidad cambia con los datos de la Tabla 3 a:

$$Criterio\ de\ Utilidad\ posterior = 119.04 * 0.4918 - 67.88 * 0 - 203.25 * 0.0007 = 58.401$$

El criterio de utilidad de la posterior ante el resultado del algoritmo del Valor Económico esperado del *Layout* óptimo es 58.401. Se resalta que el valor positivo que se tomó en el criterio de utilidad de la probabilidad a priori aumentó en una proporción de casi 20.5 veces el mismo. Esto quiere decir que aunque el Valor Económico esperado del *Layout* es -152.13, un valor negativo, la empresa tenderá con un 95% de intervalo creíble a obtener utilidades mayores si modifica el Layout como el algoritmo. Aunque la relación de proporcionalidad del Layout sigue siendo inversa con el proceso de producción, al redistribuir el mismo tenderá a generar mayores utilidades.

XIV. CONCLUSIONES

1. La clasificación de los parámetros del modelo matemático dio un total de 36 variables agrupadas según la teoría de restricciones bajo las categorías de *Throughput*, Inventario y Gasto Operativo para obtener Valores Económicos de *Layout*.

2. El algoritmo que calcula los Valores Económicos de *Layout* también determina la probabilidad con un intervalo de credibilidad del 95% bajo el enfoque bayesiano con una probabilidad de 49.18% para el *Throughput*, 0.00018% para el Gasto Operativo y 0.07% para el Inventario determinando los Valores Económicos de *Layout* de 119.04, 67.88 y 203.25 unidades monetarias sobre unidades temporales.

3. El Plan de implementación del modelo determinó 5 pilares de puntos críticos para evaluar la eficacia del modelo matemático en el cuál resalta el cálculo de las posibilidades ponderadas de los ingresos y egresos con sus respectivas probabilidades resultando en un criterio de utilidad de 58.401 en el escenario óptimo.

4. El criterio de utilidad bajo el análisis bayesiano le proporciona al modelo matemático un respaldo estadístico de probabilidad en un intervalo de credibilidad del 95% a pesar de que los datos presentaron una función de densidad de probabilidad no independiente ni idénticamente distribuidos.

XV. RECOMENDACIONES

1. Es necesaria una rigurosidad estadística que solo el enfoque bayesiano puede prestar ante el enfoque frecuentista para presentar una probabilidad de que un valor esperado se encuentre en un intervalo de credibilidad con una probabilidad dada.

2. La implementación de una serie de pruebas para validar de una muestra aleatoria deberá comprobar los supuestos y la toma de funciones de densidad de probabilidad *a priori* para un enfoque bayesiano.

3. Es importante que los proyectos de investigación que continúen esta tesis trabajen en dos alternativas para validar el modelo matemático y su planteamiento con el criterio de utilidad bajo una estadística bayesiana. La primera alternativa es validar el proyecto bajo la premisa de que la tesis adquirió los supuestos correctos. La segunda alternativa es intentar demostrar que la tesis adquirió los supuestos incorrectos y así intentar demostrar que el modelo no es válido.

4. Se recomienda una revisión de los estándares de mantenimiento previo a cualquier prueba de validación del modelo matemático pues la sensibilidad del mismo al espacio volumétrico es considerable.

XVI. BIBLIOGRAFÍA

[1] a b c «matemática», Diccionario de la lengua española (avance de la vigésima tercera edición).

[4] Bender, E. A. (1978). An introduction to mathematical modeling. New York: Wiley

[20] C. Silva, X. Flores, G. García, J.P.Pérez. "Utilización de la simulación de procesos con herramientas de software para la predicción de la producción", in Proceedings of the Thirteenth Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology: "Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?", 2015, Santo Domingo, Dominican Republic. Disponible en: {http://www.laccei.org/LACCEI2015-SantoDomingo/ExtendedAbstracts/EA064.pdf}

[12] C. Silva, X. Flores, G. García, J.P.Pérez." Propuesta de Cuantificación de Expectativas del Entorno para la Estructuración de una Malla Curricular", in Proceedings of the fourtheen Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology: "Engineering Innovation for global sustaniability", 2016, San José Costa Rica. Disponible en: {http://www.laccei.org/LACCEI2016-SanJose/RefereedPapers/RP76.pdf}

[16] Castellano Marrero, D., & Bardina i Simorra, X. (2015). Introducción a la estadística bayesiana.

[21] Chapra, S. C. C., Chapra, R. P. S. C., & Canale, R. P. (2007). Métodos numéricos para ingenieros. McGraw-Hill.

[24] Charles J. Geyer, "Stat 5102 Notes: More on Confidence Intervals", University of Minesota, School of statistics, 2003.

[31] Chase, Aquilano, Jacobs; Administración de la Producción y Operaciones para una ventaja competitiva; Mc Graw Hill, Duodécima edición; Sección 2.

[6] Chase, R. B., Jacobs, F. R., Aquilano, N. J., Matus, R. T., Antonio, M. B., Muñoz, H. H., E., M. H. (2010). Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros. México: McGraw-Hill. Capítulo 20

[2] Cobo Ortega, Á., & Serrano Bedia, A. M. (2005). Un algoritmo híbrido basado en colonias de hormigas para la resolución de problemas de distribución en planta orientados a procesos.

[14] Evans, A. (n.d.). Using basic statistics in the behavioral and social sciences.

[27] Georgia Tech Research Institute; Workstation Design – Workstation; 2010; Consultado el 17 de junio de 2017. Disponible en: {http://hsimed.gtri.gatech.edu/guidelines/wd_workstation.php}

[8] Goldratt. Eliyahu; La Meta; 2º Edición; México; Ediciones Regiomontanas; 2005; Capítulo 29.

[17] Herbert Lee, "Bayesian statistics: From concept to Data analysis". University of California Santa Cruz, 2015

[23] James Cruise, "Statistics for Science (F78SC)". Herriot Watt University, 2012

[3] Kotler, P., Armstrong, G., Esther, P. A., & Espinosa reyna, José Habvi de Jesús. (2012). Marketing (14th ed.). México: Pearson Educación.

[5] Marion, G. (2008). An introduction to mathematical modeling. Scotland.

[18] Markowitz, H. (1959). Portfolio selection: Efficient diversification of investments. New York: Wiley.

[10] Michael, G. (2007). Data quality and KPIs: A link to be established.

[28] Ministerio de Trabajo de Guatemala; Salario Mínimo 2017; 2016; Consultado el 17 de junio de 2017. Disponible en: {http://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/salariominimo.html}

[22] Nahmias, S. (1989). Production and operations analysis. Homewood, IL: Irwin.

[9] Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014). Niebels methods, standards, and work design. New York, NY: McGraw-Hill. Capítulo 2 y 3.

[7] Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014). Niebels methods, standards, and work design. New York, NY: McGraw-Hill. Capítulo 5.1, página 139.

[29] Niebel-Freivalds; Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo; 12 edición en español; Alfaomega; 2008 capítulo 11.

[30] Niebel-Freivalds; Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo; 12 edición en español; Alfaomega; 2008 capítulo 13.

[26] Niebel-Freivalds; Ingeniería Industrial Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo; 12 edición en español; Alfaomega; 2008 capítulos 4.4 y 11.6 en adelante.

[11] Parmenter, D. (2007). Key performance indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

[13] Ragheb, M. (2015). Risk quantification.

[19] Sharpe, W. (1712). The case of William Sharpe Esq. London: Printed in the year.

[25] Songfeng Zheng, “Math 541: Statistical Theory II”. Missouri State University, 2013.

[15] Stone, J. V. (n.d.). Bayes' rule: A tutorial introduction to Bayesian analysis.

XVII. ANEXOS

1. ESTRUCTURA GENERAL DE LA TESIS

MARCO TEÓRICO

1. Estudio de Mercado
2. Modelación matemática
3. Teoría de restricciones
    a. Sucesos dependientes y fluctuaciones estadísticas
    b. Cuellos de botella y CCR
    c. Elementos básicos de manufactura al agrupar ritmos de procesamiento
    d. Principios de contabilidad generalmente aceptados vs contabilidad basada en teoría de restricciones
4. Distribución de plantas de producción
5. Indicadores de producción
6. Cuantificación de factores cualitativos
7. Análisis de riesgos
    a. Riesgos de Seguridad industrial
    b. Riegos Económicos
    c. Riesgos Financieros
8. Estadística analítica o inferencial
9. Análisis Bayesiano
    a. Teorema de Bayes
    b. Probabilidad Subjetiva
    c. Distribución Posteriori
    d. Intervalo de Probabilidad
    e. Fair Bet
10. Teoría de Portafolio de Markowitz
11. Modelo de fijación de precios de activos de capital
12. Herramientas de software para la simulación
13. Programación de modelos matemáticos iterativos para la resolución de problemas

DIAGRAMA DE MODELO MATEMÁTICO Y ALGORITMO

METODOLOGÍA DE USO DEL MODELO MATEMÁTICO Y DEL ALGORITMO

1. Estudio de mercado
2. Cálculo de tiempos estándar
3. Clasificación de procesos industriales
4. Clasificación de recursos
5. Cálculo de throughput
6. Cálculo del inventario
7. Cálculo del gasto operativo

CLASIFICACIÓN DE PARÁMETROS

1. Clasificación de parámetros del Modelo matemático
    a. Throughput
    b. Inventario
    c. Gasto operativo
2. Clasificación de parámetros del Algoritmo

ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

1. Throughput
    a. Valor Económico Marginal del Throughput Estandarizado
2. Inventario
    a. Materia Prima
    b. Herramientas y Equipo
    c. Espacio Volumétrico Efectivo
3. Gasto operativo
    a. Mantenimiento
    b. Mano de obra indirecta

ANÁLISIS BAYESIANO

1. Función de densidad de probabilidad del throughput
2. Función de densidad de probabilidad del gasto operativo
3. Función de densidad de probabilidad del inventario

ESTRUCTURACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DEL ALGORITMO

1. Estructuración del ingreso de datos por el usuario en el algoritmo
    a. Tipo de variables utilizadas para el almacenamiento de datos
    b. Diagrama de flujo de ingreso de datos por el usuario en el algoritmo
2. Cálculo base del modelo matemático en el algoritmo
3. Cálculo de probabilidad bayesiana a priori en el algoritmo
4. Cálculo de los valores óptimos del modelo matemático en el algoritmo
5. Cálculo de probabilidad bayesiana en el algoritmo posteriori
6. Cálculo del valor económico del layout óptimo

DEFINICIÓN DEL ALGORITMO PARA EL MODELO MATEMÁTICO

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

1. Puntos críticos metodológicos del plan de implementación
    a. Estudio de mercado y estrategias empresariales
    b. Procesos industriales de producción o manufactura
    c. Economía y contabilidad
    d. Ergonomía y antropometría
    e. Distribución en planta (Layout) y macromovimientos
2. Prueba piloto
3. Estándares seleccionados para la prueba piloto
4. Sugerencias para el uso del algoritmo y del modelo matemático
    a. Sugerencias para el throughput
    b. Sugerencias para el inventario
    c. Sugerencias para el gasto operativo
    d. Sugerencias para el algoritmo
    e. Sugerencias para el análisis probabilístico
5. Consideración de factores económicos socio-culturales y ambientales

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Criterio de utilidad de los resultados

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

2. GLOSARIO DE VARIABLES UTILIZADAS DURANTE EL PLAN PILOTO DE IMPLEMENTACIÓN Y ALGUNOS TÉRMINOS GENERALES

#	VARIABLE DE ANÁLISIS	DESCRIPCIÓN
1	Número de estaciones de trabajo	Cantidad de estaciones de trabajo dentro del sistema
2	Throughput de las estaciones de trabajo	Cantidad de unidades producidas en unidad de tiempo por una estacion de trabajo. Producción diaria estándar calculada mediante los tiempos estándar brindados por la empresa durante la prueba piloto.
3	Tiempos estándar de las operaciones o procesos por estacion de trabajo	Duracion de tiempo promedio en procesamiento por estacion de trabajo. El estándar se obtuvo de una muestra de 45 tiempos por operación y la calificación para la estandarización mediante el sistema Westinghouse
4	Número de productos	Cantidad de productos distintos que produce el sistema. Dato obtenido por la empresa durante la prueba piloto.
5	Dimensiones de estación de trabajo	Dimensiones volumetricas o de area por estacion de trabajo. Obtenidas mediante medición directa en la empresa durante la prueba piloto.
6	Cantidad de recursos por estación de trabajo	Recursos humanos o automaticos utilizados por estacion.
7	Salario de recurso por estación de trabajo	Salario del recurso humanos utilizados por estacion. Información brindada por la empresa durante la prueba piloto.
8	Costo de mantenimiento por área de cada estación de trabajo	Determinación del costo por metro cuadrado de la estación de trabajo, incluye costos fijos únicamente.
9	Costos de operación	Costos variables brindados por la empresa durante la prueba piloto.
10	Costos fijos	Clasificación de costeo para un período constante.
11	Tiempos efectivos de trabajo por recurso	Tiempo efectivo de trabajo por recurso (maquinaria o recurso humano) obtenido de la resta de la jornada laboral y el tiempo de descanso pactado en la contratación.
12	Tiempo disponible de trabajo por recurso	Jornada laboral legal en Guatemala y adoptada por la empresa en la prueba piloto (8 horas diarias).
13	Precio por producto	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
14	Número de estaciones que agregan valor al producto	Análisis utilizando la metodología de estudio de mercado mediante cuantificación de expectativas en la empresa durante la prueba piloto.
15	Precedencia entre operaciones por producto	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
16	Distancia entre centroides	Medición obtenida directamente en la prueba piloto.

#	VARIABLE DE ANÁLISIS	DESCRIPCIÓN
17	Paso estándar entre centroides	Cálculo de distancia recorrida por el flujo de materiales en una unidad de tiempo entre estaciones de trabajo.
18	Cantidad de materia prima	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
19	Costo de materia prima	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
20	Cantidad de herramientas utilizadas en producción	Analizado durante la prueba piloto en la empresa mediante recolección de datos.
21	Tiempo estándar de herramientas	Duracion de tiempo promedio en procesamiento por estacion de trabajo para herramientas y equipo. El estándar se obtuvo de la técnica de estudios de tiempos predeterminados MOST para uso de herramienta.
22	Costo de herramientas	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
23	Número de mantenimientos diarios	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
24	Tiempo estándar de mantenimientos	Duracion de tiempo promedio en procesamiento por estacion de trabajo para mantenimiento. El estándar se obtuvo de la técnica de estudios de tiempos predeterminados MOST para uso de herramientas en procesos no directos.
25	Unidades trabajadas entre mantenimientos	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
26	Costo de mantenimiento	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
27	Tiempo total de uso de herramientas	Duracion de tiempo promedio en procesamiento y no procesamiento por estacion de trabajo para herramientas. El estándar se obtuvo del promedio de 30 tomas de tiempos en una jornada laboral de 8 horas y se calificó para estandarizar mediante el sistema Westinghouse.
28	Tiempo de uso de las herramientas empleadas en el mantenimiento	Duracion de tiempo promedio en procesamiento por estacion de trabajo para herramientas de mantenimiento. El estándar se obtuvo de la técnica de estudios de tiempos predeterminados MOST para uso de herramientas en procesos no directos.
29	Mano de obra indirecta en producción	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
30	Salario mano de obra indirecta	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
31	Throughput bajo supervisión de mano de obra indirecta	Producción diaria estándar obtenida durante la prueba piloto con el inverso del tiempo estándar brindado por la empresa.
32	Tiempo de supervisión de mano de obra indirecta	Brindado por la empresa en la prueba piloto.

#	VARIABLE DE ANÁLISIS	DESCRIPCIÓN
33	Tiempo total de trabajo de mano de obra indirecta	Brindado por la empresa en la prueba piloto.
34	Holguras	Tiempo pactado o delimitado para el descanso, recuperación de fatiga, almuerzo y tiempo no utilizado de la jornada laboral (legalmente 8 horas diarias)
35	Sistema Westinghouse	Sistema de calificación de 4 factores para estandarizar tiempos. Los factores son velocidad, esfuerzo, consistencia y habilidad.
36	Técnica MOST	Técnica de tiempos predeterminados para estándares establecidos de diversas tareas indirectas de trabajo manual.

3. DISTRIBUCIONES ESTADÍSTICAS IMPORTANTES

1 Indicator Functions

The concept of an indicator function is a really useful one. This is a function that takes the value one if its argument is true, and the value zero if its argument is false. Sometimes these functions are called Heaviside functions or unit step functions. I write an indicator function as $I_{\{A\}}(x)$, although sometimes they are written $1_{\{A\}}(x)$. If the context is obvious, we can also simply write $I_{\{A\}}$.

Example:

$$I_{\{x>3\}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 3 \\ 1 & x > 3 \end{cases}$$

Indicator functions are useful for making sure that you don't take the log of a negative number, and things like that. Indicator functions are always first in the order of operations—if the indicator function is zero, you don't try to evaluate the rest of the expression. When taking derivatives they just go along for the ride. When taking integrals, they may affect the range over which the integral is evaluated.

Example: The density function for the exponential distribution (see Section 4.1) can be written as $f(x) = \lambda \exp(-\lambda x) I_{\{x \geq 0\}}(x)$. We can integrate the density and show that it is indeed a proper density and integrates to one:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \lambda \exp(-\lambda x) I_{\{x \geq 0\}}(x) dx = \int_{0}^{\infty} \lambda \exp(-\lambda x) dx = -\exp(-\lambda x)|_0^{\infty} = -(0-1) = 1.$$

The derivative of the density function would be:

$$\frac{d}{dx} \lambda \exp(-\lambda x) I_{\{x \geq 0\}}(x) = -\lambda^2 \exp(-\lambda x) I_{\{x \geq 0\}}(x).$$

2 Expected Values

The expected value, also known as the expectation or mean, of a random variable X is denoted $E(X)$. It is the weighed average of all values X could take, with weights given by the probabilities of those values. If X is discrete-valued, then

$$E(X) = \sum_x x \cdot P(X = x) = \sum_x x \cdot f(x)\,.$$

If X is a continuous random variable with probability density function (PDF) $f(x)$, we replace the summation with an integral

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f(x)dx\,.$$

The expectation of a random variable can be thought of as the average value. If, for example, we observed many realizations of a random variable X and took their average, it would be close to $E(X)$.

One nice property of expected values is that they are easy to compute for linear functions of random variables. To see this, let X and Y be random variables with $E(X) = \mu_X$ and $E(Y) = \mu_Y$. Suppose we are interested in a new random variable $Z = aX + bY + c$ where a, b, and c are any real constants. The mean of Z is easy to compute: $E(Z) = E(aX + bY + c) = aE(X) + bE(Y) + c = a\mu_X + b\mu_Y + c$.

We can also compute expectations of functions of X. For example, suppose $g(X) = 2/X$. Then we have $E(g(X)) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x)f(x)dx = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{2}{x} f(x)dx$. Note however that in general, $E(g(X)) \neq g(E(X))$.

Example: Let's say continuous random variable X has PDF $f(x) = 3x^2 I_{\{0\leq x\leq 1\}}(x)$. We want to find $E(X)$ and $E(X^2)$. First,

$$\begin{aligned}
E(X) &= \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot 3x^2 I_{\{0\leq x\leq 1\}}(x)dx \\
&= \int_0^1 x \cdot 3x^2 dx = \int_0^1 3x^3 dx = \frac{3}{4}x^4\Big|_{x=0}^{x=1} = \frac{3}{4}(1-0) \qquad (1) \\
&= \frac{3}{4}\,,
\end{aligned}$$

and second,

$$\begin{aligned}
E(X^2) &= \int_{-\infty}^{\infty} x^2 \cdot 3x^2 I_{\{0\leq x\leq 1\}}(x)dx \\
&= \int_0^1 x^2 \cdot 3x^2 dx = \int_0^1 3x^4 dx = \frac{3}{5}x^5\Big|_{x=0}^{x=1} = \frac{3}{5}(1-0) \qquad (2) \\
&= \frac{3}{5}\,.
\end{aligned}$$

2.1 Variance

The variance of random variable measures how spread out its values are. If X is a random variable with mean $E(X) = \mu$, then the variance is $E[(X - \mu)^2]$. In words, the variance is the expected value of the squared deviation of X from its mean. If X is discrete, this is calculated as

$$Var(X) = \sum_x (x - \mu)^2 \cdot P(X = x)$$

and if X is continuous, it is

$$Var(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 \cdot f(x)dx\,.$$

For both discrete and continuous X, a convenient formula for the variance is $Var(X) = E[X^2] - (E[X])^2$. The square root of variance is called the standard deviation.

Variance has a linear property similar to expectation. Again, let X and Y be random variables with $Var(X) = \sigma_X^2$ and $Var(Y) = \sigma_Y^2$. It is also necessary to assume that X and Y are independent. Suppose we are interested in a new random variable $Z = aX + bY + c$ where a, b, and c are any real constants. The variance of Z is then $Var(Z) = Var(aX + bY + c) = a^2Var(X) + b^2Var(Y) + 0 = a^2\sigma_X^2 + b^2\sigma_Y^2$. Because c is constant, it has variance 0.

Example: Continuing the previous example, let's say continuous random variable X has PDF $f(x) = 3x^2 I_{\{0 \leq x \leq 1\}}(x)$. We found in Equations 1 and 2 that $E(X) = 3/4$ and $E(X^2) = 3/5$. Then, $Var(X) = E[X^2] - (E[X])^2 = 3/5 - (3/4)^2 = 3/80$.

3 Additional Discrete Distributions

3.1 Geometric

The geometric distribution is the number of trials needed to get the first success, i.e., the number of Bernoulli events until a success is observed, such as the first head when flipping a coin. It takes values on the positive integers starting with one (since at least one trial is needed to observe a success).

$$X \sim \text{Geo}(p)$$
$$P(X = x|p) = p(1-p)^{x-1} \text{ for } x = 1, 2, \ldots$$
$$E[X] = \frac{1}{p}$$

If the probability of getting a success is p, then the expected number of trials until the first success is $1/p$.

Example: What is the probability that we flip a fair coin four times and don't see any heads? This is the same as asking what is $P(X > 4)$ where $X \sim Geo(1/2)$. $P(X > 4) = 1 - P(X = 1) - P(X = 2) - P(X = 3) - P(X = 4) = 1 - (1/2) - (1/2)(1/2) - (1/2)(1/2)^2 - (1/2)(1/2)^3 = 1/16$. Of course, we could also have just computed it directly, but here we see an example of using the geometric distribution and we can also see that we got the right answer.

3.2 Multinomial

Another generalization of the Bernoulli and the binomial is the multinomial distribution, which is like a binomial when there are more than two possible outcomes. Suppose we have n trials and there are k different possible outcomes which occur with probabilities $p_1, \ldots, p_k$. For example, we are rolling a six-sided die that might be loaded so that the sides are not equally likely, then n is the total number of rolls, $k = 6$, p_1 is the probability of rolling a one, and we denote by $x_1, \ldots, x_6$ a possible outcome for the number of times we observe rolls of each of one through six, where $\sum_{i=1}^{6} x_i = n$ and $\sum_{i=1}^{6} p_i = 1$.

$$f(x_1, \ldots, x_k|p_1, \ldots, p_k) = \frac{n!}{x_1! \cdots x_k!} p_1^{x_1} \cdots p_k^{x_k}.$$

Recall that $n!$ stands for n factorial, which is the product of n times $n-1$ times $\ldots 1$, e.g., $4! = 4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 1 = 24$. The expected number of observations in category i is np_i.

3.3 Poisson

The Poisson distribution is used for counts, and arises in a variety of situations. The parameter $\lambda > 0$ is the rate at which we expect to observe the thing we are counting.

$$\begin{aligned} X &\sim \text{Pois}(\lambda) \\ P(X = x|\lambda) &= \frac{\lambda^x \exp(-\lambda)}{x!} \text{ for } x = 0, 1, 2, \ldots \\ E[X] &= \lambda \\ Var[X] &= \lambda \end{aligned}$$

A Poisson process is a process wherein events occur on average at rate λ, events occur one at a time, and events occur independently of each other.

Example: Significant earthquakes occur in the Western United States approximately following a Poisson process with rate of two earthquakes per week. What is the probability there will be at least 3 earthquakes in the next two weeks? Answer: the rate per two weeks is $2 \times 2 = 4$, so let $X \sim \text{Pois}(4)$ and we want to know $P(X \geq 3) = 1 - P(X \leq 2) = 1 - P(X = 0) - P(X = 1) - P(X = 2) = 1 - e^{-4} - 4e^{-4} - \frac{4^2 e^{-4}}{2} = 1 - 13e^{-4} = 0.762$. Note that $0! = 1$ by definition.

4 Continuous Distributions

4.1 Exponential

The exponential distribution is often used to model the waiting time between random events. Indeed, if the waiting times between successive events are independent from an $\text{Exp}(\lambda)$ distribution, then for any fixed time window of length t, the number of events occurring in that window will follow a Poisson distribution with mean $t\lambda$.

$$\begin{aligned} X &\sim \text{Exp}(\lambda) \\ f(x|\lambda) &= \lambda e^{-\lambda x} I_{\{x \geq 0\}}(x) \\ E[X] &= \frac{1}{\lambda} \\ Var[X] &= \frac{1}{\lambda^2} \end{aligned}$$

Similar to the Poisson distribution, the parameter λ is interpreted as the rate at which the events occur.

4.2 Gamma

If $X_1, X_2, \ldots, X_n$ are independent (and identically distributed $\text{Exp}(\lambda)$) waiting times between successive events, then the total waiting time for all n events to occur $Y = \sum_{i=1}^{n} X_i$ will follow a gamma distribution with shape parameter $\alpha = n$ and rate parameter $\beta = \lambda$.

$$
\begin{aligned}
Y &\sim \text{Gamma}(\alpha, \beta) \\
f(y|\alpha, \beta) &= \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} y^{\alpha-1} e^{-\beta y} I_{\{y \geq 0\}}(y) \\
E[Y] &= \frac{\alpha}{\beta} \\
Var[Y] &= \frac{\alpha}{\beta^2}
\end{aligned}
$$

where $\Gamma(\cdot)$ is the gamma function, a generalization of the factorial function which can accept non-integer arguments. If n is a positive integer, then $\Gamma(n) = (n-1)!$. Note also that $\alpha > 0$ and $\beta > 0$.

The exponential distribution is a special case of the gamma distribution with $\alpha = 1$. The gamma distribution commonly appears in statistical problems, as we will see in this course. It is used to model positive-valued, continuous quantities whose distribution is right-skewed. As α increases, the gamma distribution more closely resembles the normal distribution.

4.3 Uniform

The uniform distribution is used for random variables whose possible values are equally likely over an interval. If the interval is (a, b), then the uniform probability density function (PDF) $f(x)$ is flat for all values in that interval and 0 everywhere else.

$$
\begin{aligned}
X &\sim \text{Uniform}(a, b) \\
f(x|a, b) &= \frac{1}{b-a} I_{\{a \leq x \leq b\}}(x) \\
E[X] &= \frac{a+b}{2} \\
Var[X] &= \frac{(b-a)^2}{12}
\end{aligned}
$$

The standard uniform distribution is obtained when $a = 0$ and $b = 1$.

4.4 Beta

The beta distribution is used for random variables which take on values between 0 and 1. For this reason (and other reasons we will see later in the course), the beta distribution is commonly used to model probabilities.

$$
\begin{aligned}
X &\sim \text{Beta}(\alpha, \beta) \\
f(x|\alpha, \beta) &= \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1} I_{\{0<x<1\}}(x) \\
E[X] &= \frac{\alpha}{\alpha+\beta} \\
Var[X] &= \frac{\alpha\beta}{(\alpha+\beta)^2(\alpha+\beta+1)}
\end{aligned}
$$

where $\Gamma(\cdot)$ is the gamma function introduced with the gamma distribution. Note also that $\alpha > 0$ and $\beta > 0$. The standard Uniform$(0, 1)$ distribution is a special case of the beta distribution with $\alpha = \beta = 1$.

4.5 Normal

The normal, or Gaussian distribution is one of the most important distributions in statistics. It arises as the limiting distribution of sums (and averages) of random variables. This is due to the Central Limit Theorem, introduced in Section 5. Because of this property, the normal distribution is often used to model the "errors," or unexplained variation of individual observations in regression models.

The standard normal distribution is given by

$$
\begin{aligned}
Z &\sim \text{N}(0, 1) \\
f(z) &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \\
E[Z] &= 0 \\
Var[Z] &= 1
\end{aligned}
$$

Now consider $X = \sigma Z + \mu$ where $\sigma > 0$ and μ is any real constant. Then $E(X) = E(\sigma Z + \mu) = \sigma E(Z) + \mu = \sigma \cdot 0 + \mu = \mu$ and $Var(X) = Var(\sigma Z + \mu) = \sigma^2 Var(Z) + 0 = \sigma^2 \cdot 1 = \sigma^2$. Then, X follows a normal distribution with mean μ and variance σ^2 (standard deviation σ)

denoted as

$$X \sim \mathrm{N}(\mu, \sigma^2)$$
$$f(x|\mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

The normal distribution is symmetric about the mean μ, and is often described as a "bell-shaped" curve. Although X can take on any real value (positive or negative), more than 99% of the probability mass is concentrated within three standard deviations of the mean.

The normal distribution has several desirable properties. One is that if $X_1 \sim \mathrm{N}(\mu_1, \sigma_1^2)$ and $X_2 \sim \mathrm{N}(\mu_2, \sigma_2^2)$ are independent, then $X_1 + X_2 \sim \mathrm{N}(\mu_1 + \mu_2, \sigma_1^2 + \sigma_2^2)$. Consequently, if we take the average of n independent and identically distributed (iid) normal random variables,

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} X_i ,$$

where $X_i \overset{\text{iid}}{\sim} \mathrm{N}(\mu, \sigma^2)$ for $i = 1, 2, \ldots, n$, then

$$\bar{X} \sim \mathrm{N}\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right) . \tag{3}$$

4.6 t

If we have normal data, we can use Equation 3 to help us estimate the mean μ. Reversing the transformation from the previous section, we get

$$\frac{\bar{X} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}} \sim \mathrm{N}(0, 1) . \tag{4}$$

However, we may not know the value of σ. If we estimate it from data, we can replace it with $S = \sqrt{\sum_i (X_i - \bar{X})^2/(n-1)}$, the sample standard deviation. This causes the expression (4) to no longer be distributed as standard normal, but as a standard t distribution with $\nu = n-1$ degrees of freedom.

$$Y \sim \mathrm{t}_\nu$$
$$f(y) = \frac{\Gamma(\frac{\nu+1}{2})}{\Gamma(\frac{\nu}{2})\sqrt{\nu\pi}} \left(1 + \frac{y^2}{\nu}\right)^{-(\frac{\nu+1}{2})}$$
$$E[Y] = 0 \text{ if } \nu > 1$$
$$Var[Y] = \frac{\nu}{\nu - 2} \text{ if } \nu > 2$$

The t distribution is symmetric and resembles the normal distribution, but with thicker tails. As the degrees of freedom increase, the t distribution looks more and more like the standard normal distribution.

5 Central Limit Theorem

The Central Limit Theorem is one of the most important results in statistics, basically saying that with sufficiently large sample sizes, the sample average approximately follows a normal distribution. This underscores the importance of the normal distribution, as well as most of the methods commonly used which make assumptions about the data being normally distributed.

Let's first stop and think about what it means for the sample average to have a distribution. Imagine going to the store and buying a bag of your favorite brand of chocolate chip cookies. Suppose the bag has 24 cookies in it. Will each cookie have the exact same number of chocolate chips in it? It turns out that if you make a batch of cookies by adding chips to dough and mixing it really well, then putting the same amount of dough onto a baking sheet, the number of chips per cookie closely follows a Poisson distribution. (In the limiting case of chips having zero volume, this is exactly a Poisson process.) Thus we expect there to be a lot of variability in the number of chips per cookie. We can model the number of chips per cookie with a Poisson distribution. We can also compute the average number of chips per cookie in the bag. For the bag we have, that will be a particular number. But there may be more bags of cookies in the store. Will each of those bags have the same average number of chips? If all of the cookies in the store are from the same industrial-sized batch, each cookie will individually have a Poisson number of chips. So the average number of chips in one bag may be different from the average number of chips in another bag. Thus we could hypothetically find out the average number of chips for each bag in the store. And we could think about what the distribution of these averages is, across the bags in the store, or all the bags of cookies in the world. It is this distribution of averages that the central limit theorem says is approximately a normal distribution, with the same mean as the distribution for the individual cookies, but with a standard deviation that is divided by the square root of the number of samples in each average (i.e., the number of cookies per bag).

In formal mathematical notation, the Central Limit Theorem says: Let $X_1, \ldots, X_n$ be independent and identically distributed with $E[X_i] = \mu$ and $Var(X_i) = \sigma^2, 0 < \sigma^2 < \infty$.

Then

$$\frac{\sqrt{n}(\bar{X} - \mu)}{\sigma} \Rightarrow N(0, 1)\,.$$

That is, $\bar{X}_n$ is approximately normally distributed with mean μ and variance σ^2/n or standard deviation $\sigma/\sqrt{n}$.

6 Bayes Theorem for continuous distributions

When dealing with a continuous random variable θ, we can write the conditional density for θ given y as:

$$f(\theta|y) = \frac{f(y|\theta)f(\theta)}{\int f(y|\theta)f(\theta)d\theta}\,.$$

This expression does the same thing that the versions of Bayes' theorem from Lesson 2 do. Because θ is continuous, we integrate over all possible values of θ in the denominator rather than take the sum over these values.

[26]

4. INGRESO DE DATOS EN EL PROGRAMA

```
> source('D:/Documents/UVG/Tesis/Tesis final/R - Tesis/Tesis/Tesis.R')
[1] "-----------------------------------ALGORITMO DEL MODELO MATEMATICO---------------------------"
[1] "--------------------------------------------MENU DE OPCIONES---------------------------------"
[1] "1- Ingresar datos al modelo matemático"
[1] "2- Salir"
Ingrese el número de su selección: 1
[1] "---------------------------------ESTACIONES DE TRABAJO---------------------------------------"
Ingrese el número de estaciones de trabajo: 8
Ingrese el Throughput de la estación de trabajo 1: 147
Ingrese el tiempo estándar de la estación de trabajo 1: 2
Ingrese los productos (separados por comas) que se trabajan en esta estación 1: 1
Ingrese las dimensiones de altura de la estación de trabajo 1: 2
Ingrese las dimensiones de ancho de la estación de trabajo 1: 1.5
Ingrese las dimensiones de fondo de la estación de trabajo 1: 1
Ingrese el número de recursos de la estación de trabajo 1: 1
Ingrese el salario del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 86.9
Ingrese el costo de mantenimiento del área del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 59.25
Ingrese el costo de operación del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el costo fijo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el tiempo efectivo de trabajo en el volumen del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 384
Ingrese el tiempo disponible de trabajo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 480
Ingrese el Throughput de la estación de trabajo 2: 147
Ingrese el tiempo estándar de la estación de trabajo 2: 3.25
Ingrese los productos (separados por comas) que se trabajan en esta estación 2: 1
Ingrese las dimensiones de altura de la estación de trabajo 2: 2
Ingrese las dimensiones de ancho de la estación de trabajo 2: 1.5
Ingrese las dimensiones de fondo de la estación de trabajo 2: 1
Ingrese el número de recursos de la estación de trabajo 2: 1
Ingrese el salario del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 86.9
Ingrese el costo de mantenimiento del área del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 59.25
Ingrese el costo de operación del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el costo fijo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el tiempo efectivo de trabajo en el volumen del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 384
Ingrese el tiempo disponible de trabajo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 480
Ingrese el Throughput de la estación de trabajo 3: 147
Ingrese el tiempo estándar de la estación de trabajo 3: 1.2
Ingrese los productos (separados por comas) que se trabajan en esta estación 3: 1
Ingrese las dimensiones de altura de la estación de trabajo 3: 2
Ingrese las dimensiones de ancho de la estación de trabajo 3: 1.5
Ingrese las dimensiones de fondo de la estación de trabajo 3: 1
Ingrese el número de recursos de la estación de trabajo 3: 1
Ingrese el salario del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 86.9
Ingrese el costo de mantenimiento del área del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 59.25
Ingrese el costo de operación del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el costo fijo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el tiempo efectivo de trabajo en el volumen del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 384
Ingrese el tiempo disponible de trabajo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 480
Ingrese el Throughput de la estación de trabajo 4: 147
Ingrese el tiempo estándar de la estación de trabajo 4: 1
Ingrese los productos (separados por comas) que se trabajan en esta estación 4: 1
Ingrese las dimensiones de altura de la estación de trabajo 4: 2
Ingrese las dimensiones de ancho de la estación de trabajo 4: 1.5
Ingrese las dimensiones de fondo de la estación de trabajo 4: 1
Ingrese el número de recursos de la estación de trabajo 4 : 1
Ingrese el salario del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 86.9
Ingrese el costo de mantenimiento del área del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 59.25
```

```
Ingrese el costo de operación del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el costo fijo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el tiempo efectivo de trabajo en el volumen del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 384
Ingrese el tiempo disponible de trabajo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 480
Ingrese el Throughput de la estación de trabajo 5: 147
Ingrese el tiempo estándar de la estación de trabajo 5: 0.5
Ingrese los productos (separados por comas) que se trabajan en esta estación 5: 1
Ingrese las dimensiones de altura de la estación de trabajo 5: 2
Ingrese las dimensiones de ancho de la estación de trabajo 5: 1.5
Ingrese las dimensiones de fondo de la estación de trabajo 5: 1
Ingrese el número de recursos de la estación de trabajo 5: 1
Ingrese el salario del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el costo de mantenimiento del área del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 59.25
Ingrese el costo de operación del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 55
Ingrese el costo fijo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 7
Ingrese el tiempo efectivo de trabajo en el volumen del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 450
Ingrese el tiempo disponible de trabajo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 480
Ingrese el Throughput de la estación de trabajo 6: 147
Ingrese el tiempo estándar de la estación de trabajo 6: 1
Ingrese los productos (separados por comas) que se trabajan en esta estación 6: 1
Ingrese las dimensiones de altura de la estación de trabajo 6: 2
Ingrese las dimensiones de ancho de la estación de trabajo 6: 1.5
Ingrese las dimensiones de fondo de la estación de trabajo 6: 1
Ingrese el número de recursos de la estación de trabajo 6: 1
Ingrese el salario del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el costo de mantenimiento del área del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 59.25
Ingrese el costo de operación del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 50
Ingrese el costo fijo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 5
Ingrese el tiempo efectivo de trabajo en el volumen del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 460
Ingrese el tiempo disponible de trabajo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 480
Ingrese el Throughput de la estación de trabajo 7: 147
Ingrese el tiempo estándar de la estación de trabajo 7: 1
Ingrese los productos (separados por comas) que se trabajan en esta estación 7: 1
Ingrese las dimensiones de altura de la estación de trabajo 7: 2
Ingrese las dimensiones de ancho de la estación de trabajo 7: 1.5
Ingrese las dimensiones de fondo de la estación de trabajo 7: 1
Ingrese el número de recursos de la estación de trabajo 7: 1
Ingrese el salario del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el costo de mantenimiento del área del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 59.25
Ingrese el costo de operación del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 45
Ingrese el costo fijo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 7
Ingrese el tiempo efectivo de trabajo en el volumen del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 455
Ingrese el tiempo disponible de trabajo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 480
Ingrese el Throughput de la estación de trabajo 8: 147
Ingrese el tiempo estándar de la estación de trabajo 8: 1.4
Ingrese los productos (separados por comas) que se trabajan en esta estación 8: 1
Ingrese las dimensiones de altura de la estación de trabajo 8: 2
Ingrese las dimensiones de ancho de la estación de trabajo 8: 1.5
Ingrese las dimensiones de fondo de la estación de trabajo 8: 1
Ingrese el número de recursos de la estación de trabajo 8: 1
Ingrese el salario del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 0
Ingrese el costo de mantenimiento del área del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 59.25
Ingrese el costo de operación del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 47
Ingrese el costo fijo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 8
Ingrese el tiempo efectivo de trabajo en el volumen del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 465
Ingrese el tiempo disponible de trabajo del recurso 1 si no aplica, ingrese 0: 480
[1] "--------------------------------------PRODUCTOS---------------------------------------------"
```

```
Ingrese el número de productos fabricados: 1
Ingrese el Throughput del producto 1: 147
Ingrese el precio del producto 1: 100
Ingrese el número de operaciones que agregan valor al producto 1: 7
Ingrese (separado por comas) las estaciones que afectan a este producto 1: 1,2,3,4,5,6,7,8
Ingrese número de estaciones que afectan a este producto 1: 8
Ingrese la precedencia de la estación 1, si no tiene ingrese 0: 0
Ingrese la distancia entre centroides de la precedencia de la estación 1, si no tiene ingrese 0: 0
Ingrese el paso estándar entre centroides de la precedencia de la estación 1, si no tiene ingrese 0: 0
Ingrese la precedencia de la estación 2, si no tiene ingrese 0: 0
Ingrese la distancia entre centroides de la precedencia de la estación 2, si no tiene ingrese 0: 0
Ingrese el paso estándar entre centroides de la precedencia de la estación 2, si no tiene ingrese 0: 0
Ingrese la precedencia de la estación 3, si no tiene ingrese 0: 1,2
Ingrese la distancia entre centroides de la precedencia de la estación 3, si no tiene ingrese 0: 4,15
Ingrese el paso estándar entre centroides de la precedencia de la estación 3, si no tiene ingrese 0: 1.34,1.34
Ingrese la precedencia de la estación 4, si no tiene ingrese 0: 1
Ingrese la distancia entre centroides de la precedencia de la estación 4, si no tiene ingrese 0: 8
Ingrese el paso estándar entre centroides de la precedencia de la estación 4, si no tiene ingrese 0: 1.34
Ingrese la precedencia de la estación 5, si no tiene ingrese 0: 3
Ingrese la distancia entre centroides de la precedencia de la estación 5, si no tiene ingrese 0: 12
Ingrese el paso estándar entre centroides de la precedencia de la estación 5, si no tiene ingrese 0: 1.34
Ingrese la precedencia de la estación 6, si no tiene ingrese 0: 5
Ingrese la distancia entre centroides de la precedencia de la estación 6, si no tiene ingrese 0: 3
Ingrese el paso estándar entre centroides de la precedencia de la estación 6, si no tiene ingrese 0: 1.34
Ingrese la precedencia de la estación 7, si no tiene ingrese 0: 4
Ingrese la distancia entre centroides de la precedencia de la estación 7, si no tiene ingrese 0: 9
Ingrese el paso estándar entre centroides de la precedencia de la estación 7, si no tiene ingrese 0: 1.34
Ingrese la precedencia de la estación 8, si no tiene ingrese 0: 6,7
Ingrese la distancia entre centroides de la precedencia de la estación 8, si no tiene ingrese 0: 3,19
Ingrese el paso estándar entre centroides de la precedencia de la estación 8, si no tiene ingrese 0: 1.34,1.34
Ingrese número de materias primas que afectan a este producto 1: 3
Ingrese el costo de la materia prima 1: 1
Ingrese las estaciones que utilizan esta materia prima 1: 1,2,3
Ingrese el costo de la materia prima 2: 1
Ingrese las estaciones que utilizan esta materia prima 2: 4,5,6
Ingrese el costo de la materia prima 3: 2
Ingrese las estaciones que utilizan esta materia prima 3: 7,8
[1] "--------------------------------------------------HERRAMIENTAS Y EQUIPO-----------------------------------------"
Ingrese el número de herramientas utilizadas en producción: 2
Ingrese el tiempo estándar de la herramienta 1: 2
Ingrese las unidades trabajadas por la herramienta 1: 147
Ingrese el costo de la herramienta 1: 80
Ingrese número de estaciones (separadas por comas) en las que se trabaja esta herramienta 1: 1
Ingrese el tiempo estándar de la herramienta 2: 1
Ingrese las unidades trabajadas por la herramienta 2: 147
Ingrese el costo de la herramienta 2: 80
Ingrese número de estaciones (separadas por comas) en las que se trabaja esta herramienta 2: 4
[1] "----------------------------------------------MANTENIMIENTO------------------------------------------------"
Ingrese el número de mantenimientos realizados en producción: 1
Ingrese el tiempo estándar del mantenimiento 1: 15
Ingrese las unidades trabajadas entre mantenimientos del mantenimiento 1: 147
Ingrese el costo de mantenimiento 1: 45
Ingrese el tiempo de uso total del recurso al que se aplicó el mantenimiento 1: 465
Ingrese el tiempo del mantenimiento 1: 15
Ingrese número de estaciones (separadas por comas) en las que se aplica el mantenimiento 1: 8
[1] "----------------------------------------------MANO DE OBRA INDIRECTA-----------------------------------"
Ingrese el número de mano de obra indirectas en producción: 2
```

```
Ingrese el salario de la mano de obra indirecta 1: 86.9
Ingrese el Throughput bajo supervisión de la mano de obra indirecta 1: 73
Ingrese el tiempo de supervisión de la mano de obra indirecta 1: 400
Ingrese el tiempo total de trabajo de la mano de obra indirecta 1: 480
Ingrese el salario de la mano de obra indirecta 2: 86.9
Ingrese el Throughput bajo supervisión de la mano de obra indirecta 2: 74
Ingrese el tiempo de supervisión de la mano de obra indirecta 2: 350
Ingrese el tiempo total de trabajo de la mano de obra indirecta 2: 480
```

```
[1] "---------------------------------------------RESULTADOS ---------------------------------------------------------------"
```

```
[1] "El resultado del modelo:          Z    = T    -   G      -  I"
[1] "según los datos ingresados es:  -295.42 = 50    - 67.88    - 277.54"
[1] "con sus respectivas probabilidades de: T-> 6.27% | G-> 0% | I-> 0.03%"
[1] "El resultado de la fair bet en base al modelo es: 3.05"
```

```
[1] "El resultado del modelo:               Z    =   T    -   G   -   I"
[1] "según la optimización realizada es:  -152.13 = 119.04 - 67.88 - 203.29"
[1] "con sus respectivas probabilidades de:     T-> 49.18% | G-> 0% | I-> 0.07%"
[1] "El resultado de la fair bet en base al modelo optimizado es: 58.4"
```

---

5. ALGORITMO

```
Main_Bool <- TRUE

while(Main_Bool){

  print("----------------------------------------------------------------------------------------------------------------ALGORITMO DEL MODELO MATEMATICO----------------------------------------------------------------------------------------------------------------")

  print("------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------MENU DE OPCIONES------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------")

  print("1- Ingresar datos al modelo matemático")

  print("2- Salir")

  Menu_Str <- readline("Ingrese el número de su selección: ")

  Menu <- as.numeric(Menu_Str)

  if(Menu == 1){

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------INICIALIZACION DE VARIABLES------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

    tstd_Estaciones <- list() #Tiempos estándares de las distintas estaciones de trabajo

    Thro_Estaciones <- list() #Throughput estándares de las distintas estaciones de trabajo

    NumP_Estaciones <- list() #Numero de productos en las distintas estaciones de trabajo

    Volh_ET <- list() #Dimensión de altura en las distintas estaciones de trabajo

    Volw_ET <- list() #Dimensión de ancho en las distintas estaciones de trabajo

    Voll_ET <- list() #Dimensión de largo en las distintas estaciones de trabajo

    VolT_ET <- list() #Dimensión de Volumen en las distintas estaciones de trabajo

    Csvw <- list() #Costos semi variables en la dimensión de ancho del volumen de trabajo

    Csvl <- list() #Costos semi variables en la dimensión de largo del volumen de trabajo

    Csvh <- list() #Costos semi variables en la dimensión de altura del volumen de trabajo

    Cfw <- list() #Costos fijos en la dimensión de ancho del volumen de trabajo

    Cfl <- list() #Costos fijos en la dimensión de largo del volumen de trabajo

    Cfh <- list() #Costos fijos en la dimensión de altura del volumen de trabajo

    Vol_ET_Mta <- list() #Costos semi variables por mantenimiento del volumen de trabajo

    Vol_ET_Or <- list() #Costos semi variables por operación del recurso en el volumen de trabajo

    Vol_ET_Sal <- list() #Costos semi variables por salario del recurso en el del volumen de trabajo

    Vol_ET_tea <- list() #Tiempos disponibles de trabajo del volumen de trabajo

    Vol_ET_tdt <- list() #Tiempos disponibles de trabajo del volumen de trabajo

    Precio_Productos <- list() #Precios de los productos producidos

    Thro_Productos <- list() #Distintos throughput de los productos producidos

    Ops_Productos <- list() #Operaciones que agregan valor a los productos producidos

    Estaciones_Productos <- list() #Estaciones que trabajan los distintos productos

    Pre_PPE <- list() #Precedencia de las estaciones de trabajo que operan un producto

    DEC_PPE_Str <- list() #Distancia entre centroides de las estaciones de trabajo que operan un producto según su precedencia. Ingreso en tipo char

    PEEC_PPE_Str <- list() #Paso estándar del material entre centroides de las estaciones de trabajo que operan un producto según su precedencia. Ingreso en tipo char

    DEC_PPE <- list() #Distancias entre centroides de las estaciones de trabajo que operan un producto según su precedencia. Conversión a numérico.

    PEEC_PPE <- list() #Paso estándar del material entre centroides de las estaciones de trabajo que operan un producto según su precedencia. Conversión a numérico.

    tstd_HE <- list() #Tiempo estándar de operación de la herramienta

    Thro_HE <- list() #Throughput de la herramienta

    Costo_HE <- list() #Costo de la herramienta

    Estaciones_HE <- list() #Estaciones de trabajo donde se utiliza la herramienta

    tstd_Mto <- list() #Tiempo estándar del mantenimiento

    Uni_Mto <- list() #Unidades producidas entre el ultimo mantenimiento y el mantenimiento ingresado
```

```
Costo_Mto <- list() #Costo del mantenimiento

tmt_Mto <- list() #Tiempo de duración del recurso en el mantenimiento

ttu_Mto <- list() #Tiempo total de uso del recurso

Estaciones_Mto <- list() #Estaciones de trabajo donde se aplicó el mantenimiento

Sal_MOI <- list() #Salario de la mano de obra indirecta

Thro_MOI <- list() #Throughput del sistema durante el tiempo que se realiza la supervisión

Costo_MOI <- list() #Costo de la mano de obra indirecta

tsup_MOI <- list() #Tiempo de la mano de obra indirecta empleado en supervisión

ttt_MOI <- list() #Tiempo total disponible de trabajo de la mano de obra indirecta

t_procesamientos <- list() #Tiempo de procesamiento entre estaciones de trabajo según la precedencia.

t_transporte <- list() #Tiempo de transporte acorde al paso estándar del material entre estaciones de trabajo según la precedencia

Deltat_Est <- list() #Tasa de conversión de tiempo estándar basado en la diferencia entre t_procesamientos y t_transporte

N_tstd_Est <- list() #Nuevo tiempo estándar según optimización para cálculo del modelo posterior

Produ_MP_Est <- list() #Materia prima por producto en su respectiva estación de trabajo

Produ_CMP_Est <- list() #Costo de materia prima por producto en su respectiva estación de trabajo

tstd_CBs <- 0 #Tiempo estándar del cuello de botella

loc_CBs <- 0 #Posición de localización del cuello de botella dentro de la lista de tiempos estándar

TEV <- 0 #Tasa económica variable

TEF <- 0 #Tasa económica fija

CT_EVE <- 0 #Costo total del espacio volumétrico efectivo

EVE <- 0 #Espacio volumétrico efectivo

Oavp <- 0 #Numero de operaciones que agregan valor al producto

Costo_MP <-0 #Costo de la materia prima

MPx <- 0 #Materia prima en el estado x

Thro_Abs <- 0 #Throughput absoluto del sistema

tstd_EstPP <- 0 #Tiempos estándar de las estaciones de trabajo por producto

Tt <- 0 #Throughput total

HEx <- 0 #Herramientas y Equipo en el estado x

MTO <- 0 #Mantenimiento

MOI <- 0 #Mano de obra indirecta

G <- 0 #Gasto

I <- 0 #Inventario

Z <- 0 #Resultado del modelo

Opt_Inv <- 0 #Inventario después de optimización

Opt_Z <- 0 #Resultado del modelo después de optimización

Opt_MPx <- 0 #Materia prima en el estado x después de optimización

Opt_EVE <- 0 #Espacio volumétrico efectivo después de optimización

Opt_Tt <- 0 #Throughput total después de optimización

N_tstd_EstPP <- 0 #Nuevo tiempo estándar de la estación de trabajo por producto
```

```
#-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
```

```r
print("-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------ESTACIONES DE TRABAJO--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------")

Stations_Str <- readline("Ingrese el número de estaciones de trabajo: ")

Stations <- as.numeric(Stations_Str)

for(i in 1:Stations){

 Ingre_TE_Str <- readline(paste("Ingrese el Throughput de la estación de trabajo", i,": "))

 Ingre_TE <- as.numeric(Ingre_TE_Str)

 Thro_Estaciones[i] <- Ingre_TE

 Ingre_tstdE_Str <- readline(paste("Ingrese el tiempo estándar de la estación de trabajo", i,": "))

 Ingre_tstdE <- as.numeric(Ingre_tstdE_Str)

 tstd_Estaciones[i] <- Ingre_tstdE

 Ingre_EP_Str <- readline(paste("Ingrese los productos (separados por comas) que se trabajan en esta estación", i,": "))

 Ingre_EP <- as.list(Ingre_EP_Str)

 NumP_Estaciones[i] <- Ingre_EP

 Ingre_VolhET_Str <- readline(paste("Ingrese las dimensiones de altura de la estación de trabajo", i,": "))

 Ingre_VolhET <- as.numeric(Ingre_VolhET_Str)

 Volh_ET[i] <- Ingre_VolhET

 Ingre_VolwET_Str <- readline(paste("Ingrese las dimensiones de ancho de la estación de trabajo", i,": "))

 Ingre_VolwET <- as.numeric(Ingre_VolwET_Str)

 Volw_ET[i] <- Ingre_VolwET

 Ingre_VollET_Str <- readline(paste("Ingrese las dimensiones de fondo de la estación de trabajo", i,": "))

 Ingre_VollET <- as.numeric(Ingre_VollET_Str)

 Voll_ET[i] <- Ingre_VollET

#-----------------------------------------------------------------------------------------------Verificación del dimensiones espaciales en la estaciones de trabajo---------------------------------------------------------------------------------------------------

 if(Volh_ET[i] == 0){ #En caso el usuario desee una valuación en 2 dimensiones únicamente

  VolT_ET[i] <- (Volw_ET[[i]]*Voll_ET[[i]])

 }else if(Volh_ET[i] > 0){ #En caso el usuario desee aplicar una valuación de las 3 dimensiones

  VolT_ET[i] <- (Volh_ET[[i]]*Volw_ET[[i]]*Voll_ET[[i]])

 }

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

 Resources_Str <- readline(paste("Ingrese el número de recursos de la estación de trabajo", i,": "))

 Resources <- as.numeric(Resources_Str)

 for(j in 1:Resources){

  Ingre_VolETSal_Str <- readline(paste("Ingrese el salario del recurso", j, "si no aplica, ingrese 0: "))

  Ingre_VolETSal <- as.numeric(strsplit(Ingre_VolETSal_Str, ","))

  Vol_ET_Sal[i] <- Ingre_VolETSal

  Ingre_VolETMta_Str <- readline(paste("Ingrese el costo de mantenimiento del área del recurso", j, "si no aplica, ingrese 0: "))

  Ingre_VolETMta <- as.numeric(strsplit(Ingre_VolETMta_Str, ","))

  Vol_ET_Mta[i] <- Ingre_VolETMta

  Ingre_VolETOr_Str <- readline(paste("Ingrese el costo de operación del recurso", j, "si no aplica, ingrese 0: "))

  Ingre_VolETOr <- as.numeric(strsplit(Ingre_VolETOr_Str, ","))

  Vol_ET_Or[i] <- Ingre_VolETOr

  Ingre_VolETCF_Str <- readline(paste("Ingrese el costo fijo del recurso", j, "si no aplica, ingrese 0: "))

  Ingre_VolETCF <- as.numeric(Ingre_VolETCF_Str)

  TEF <-TEF + Ingre_VolETCF #Sumatoria de los costos por recurso para creación de la Tasa económica fija

  Ingre_VolETtea_Str <- readline(paste("Ingrese el tiempo efectivo de trabajo en el volumen del recurso", j, "si no aplica, ingrese 0: "))
```

```
      Ingre_VolETtea <- as.numeric(Ingre_VolETtea_Str)

      Vol_ET_tea[i] <- Ingre_VolETtea

      Ingre_VolETtdt_Str <- readline(paste("Ingrese el tiempo disponible de trabajo del recurso", j, "si no aplica, ingrese 0: "))

      Ingre_VolETtdt <- as.numeric(Ingre_VolETtdt_Str)

      Vol_ET_tdt[i] <- Ingre_VolETtdt

#----------------------------------------------------------------------------------------------------Calculo de la  Tasa económica variable------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

      TEV <- TEV + ((Vol_ET_tea[[i]]/Vol_ET_tdt[[i]])*(Vol_ET_Mta[[i]]+Vol_ET_Or[[i]]+Vol_ET_Sal[[i]]))

     }

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

     CT_EVE <- TEF + TEV #Costo total del espacio volumétrico efectivo

#----------------------------------------------------------------------------------Distribución de costos por dimensiones de la estación de trabajo--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

     Csvw[i] <- TEV*(Volw_ET[[i]]/VolT_ET[[i]])

     Csvl[i] <- TEV*(Voll_ET[[i]]/VolT_ET[[i]])

     Csvh[i] <- TEV*(Volh_ET[[i]]/VolT_ET[[i]])

     Cfw[i] <- TEF*(Volw_ET[[i]]/VolT_ET[[i]])

     Cfl[i] <- TEF*(Voll_ET[[i]]/VolT_ET[[i]])

     Cfh[i] <- TEF*(Volh_ET[[i]]/VolT_ET[[i]])

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

     EVE <- EVE + (((CT_EVE)/(tstd_Estaciones[[i]]))/VolT_ET[[i]]) #Calculo del espacio volumétrico efectivo

     TEV <- 0

     TEF <- 0

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------Localización del cuello de botella------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

    tstd_CBs <- max(sapply(tstd_Estaciones, mean)) #Identificación del cuello de botella

     if(tstd_Estaciones[[i]] == tstd_CBs){

          loc_CBs <- i #Posición donde se encuentra dentro de la lista el cuello de botella

     }

    }

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

    N_tstd_Est <- tstd_Estaciones #Asignación de los tiempos estándares ingresados a la lista de nuevos tiempos estándares

    Estacion_Trabajo <- list(Thro_Estaciones, tstd_Estaciones, NumP_Estaciones)

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

    print("------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------PRODUCTOS--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------")

    Products_Str <- readline("Ingrese el número de productos fabricados: ")

    Products <- as.numeric(Products_Str)

    for(i in 1:Products){

     Ingre_PT_Str <- readline(paste("Ingrese el Throughput del producto", i,": "))

     Ingre_PT <- as.numeric(Ingre_PT_Str)

     Thro_Productos[i] <- Ingre_PT

     Ingre_PP_Str <- readline(paste("Ingrese el precio del producto", i,": "))

     Ingre_PP <- as.numeric(Ingre_PP_Str)

     Precio_Productos[i] <- Ingre_PP

     Ingre_PO_Str <- readline(paste("Ingrese el número de operaciones que agregan valor al producto", i,": "))

     Ingre_PO <- as.numeric(Ingre_PO_Str)

     Ops_Productos[i] <- Ingre_PO

     Oavp <- Ops_Productos[[i]]
```

```
    Ingre_ETPP_Str <- readline(paste("Ingrese (separado por comas) las estaciones que afectan a este producto", i,": "))

    Ingre_ETPP <- as.list(strsplit(Ingre_ETPP_Str,","))

    Estaciones_Productos[i] <- Ingre_ETPP

    Ingre_PE_Str <- readline(paste("Ingrese número de estaciones que afectan a este producto", i, ": "))

    Ingre_PE <- as.numeric(Ingre_PE_Str)

    for(j in 1:Ingre_PE){

      Ingre_PREE_Str <- readline(paste("Ingrese la precedencia de la estación", j, ",si no tiene ingrese 0: "))

      Ingre_PREE <- as.list(strsplit(Ingre_PREE_Str, ","))

      Pre_PPE[j] <- Ingre_PREE

      Ingre_DEC_Str <- readline(paste("Ingrese la distancia entre centroides de la precedencia de la estación", j, ",si no tiene ingrese 0: "))

      Ingre_DEC <- as.list(strsplit(Ingre_DEC_Str, ","))

      DEC_PPE_Str[j] <- Ingre_DEC

      Ingre_PEEC_Str <- readline(paste("Ingrese el paso estándar entre centroides de la precedencia de la estación", j, ",si no tiene ingrese 0: "))

      Ingre_PEEC <- as.list(strsplit(Ingre_PEEC_Str, ","))

      PEEC_PPE_Str[j] <- Ingre_PEEC

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------Conversión de valores de char a numeric------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

      for(x in 1:length(DEC_PPE_Str)){

        DEC_PPE[x] <- as.numeric(DEC_PPE_Str[[x]]) #Conversión de tipo de variable de Char a Numeric y guardado en nueva variable

        PEEC_PPE[x] <- as.numeric(PEEC_PPE_Str[[x]])

      }

    }

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

    Ingre_PMP_Str <- readline(paste("Ingrese número de materias primas que afectan a este producto", i,": "))

    Ingre_PMP <- as.numeric(Ingre_PMP_Str)

    for(k in 1:Ingre_PMP){

      Ingre_CPMPE_Str <- readline(paste("Ingrese el costo de la materia prima", k,": "))

      Ingre_CPMPE <- as.numeric(Ingre_CPMPE_Str)

      Produ_CMP_Est[k] <- Ingre_CPMPE

      Ingre_PMPE_Str <- readline(paste("Ingrese las estaciones que utilizan esta materia prima", k,": "))

      Ingre_PMPE <- as.list(strsplit(Ingre_PMPE_Str, ","))

      Produ_MP_Est[k] <- Ingre_PMPE

      Costo_MP <- Costo_MP + Produ_CMP_Est[[k]] #Sumatoria para el costo total de las distintas materias primas

    }

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------Calculo de materia prima en el estado x------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

    for(w in 1:length(Produ_MP_Est)){

      if(i == as.numeric(Produ_MP_Est[[w]])){

        MPx <- MPx + (Costo_MP/Ops_Productos[[i]])*(1/tstd_Estaciones[[i]])

      }

    }

#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

    Thro_Abs <- Thro_Abs + Thro_Productos[[i]] #Sumatoria de throughput para obtener el absoluto del sistema en base a los productos




#------------------------------------------------------------------------------------------------------------Asignación de productos a sus respectivas estaciones------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

    for(x in 1:length(Estaciones_Productos)){
```

```
      if(i == as.numeric(Estaciones_Productos[[x]])){ #Verificación de productos por estación
        tstd_EstPP <- tstd_Estaciones[[i]]
      }
    Tt <- round(Tt + ((1/tstd_EstPP)*(Thro_Productos[[i]]/Thro_Abs)*(Precio_Productos[[i]])),2) #Calculo de las sumatorias de troughput por productos
    }
  }
  Productos <- list(Thro_Productos,Precio_Productos, Ops_Productos,Pre_PPE,Produ_CMP_Est,Produ_MP_Est)
#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
  print("--------------------------------------------------------------------------------------------------------------HERRAMIENTAS Y EQUIPO---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------")
  Tools_Str <- readline("Ingrese el número de herramientas utilizadas en producción: ")
  Tools <- as.numeric(Tools_Str)
  for(i in 1:Tools){
    Ingre_tstdHE_Str <- readline(paste("Ingrese el tiempo estándar de la herramienta", i,": "))
    Ingre_tstdHE <- as.numeric(Ingre_tstdHE_Str)
    tstd_HE[i] <- Ingre_tstdHE
    Ingre_ThroHE_Str <- readline(paste("Ingrese las unidades trabajadas por la herramienta", i,": "))
    Ingre_ThroHE <- as.numeric(Ingre_ThroHE_Str)
    Thro_HE[i] <- Ingre_ThroHE
    Ingre_CostoHE_Str <- readline(paste("Ingrese el costo de la herramienta", i,": "))
    Ingre_CostoHE <- as.numeric(Ingre_CostoHE_Str)
    Costo_HE[i] <- Ingre_CostoHE
    Ingre_HEE_Str <- readline(paste("Ingrese número de estaciones (separadas por comas) en las que se trabaja esta herramienta", i,": "))
    Ingre_HEE <- as.list(strsplit(Ingre_HEE_Str,","))
    Estaciones_HE[i] <- Ingre_HEE
    HEx <- HEx + (1/tstd_HE[[i]])*(1-(Thro_HE[[i]]/Thro_Abs))*(Costo_HE[[i]]) #Calculo de la sumatoria de las herramientas y equipo
  }
  Herramientas_Equipo <- list(tstd_HE,Thro_HE,Costo_HE,Estaciones_HE)
#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
  print("-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------MANTENIMIENTO------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------")
  Mante_Str <- readline("Ingrese el número de mantenimientos realizados en producción: ")
  Mante <- as.numeric(Mante_Str)
  for(i in 1:Mante){
    Ingre_tstdMto_Str <- readline(paste("Ingrese el tiempo estándar del mantenimiento", i,": "))
    Ingre_tstdMto <- as.numeric(Ingre_tstdMto_Str)
    tstd_Mto[i] <- Ingre_tstdMto
    Ingre_UniMto_Str <- readline(paste("Ingrese las unidades trabajadas entre mantenimientos del mantenimiento", i,": "))
    Ingre_UniMto <- as.numeric(Ingre_UniMto_Str)
    Uni_Mto[i] <- Ingre_UniMto
    Ingre_CostoMto_Str <- readline(paste("Ingrese el costo de mantenimiento", i,": "))
    Ingre_CostoMto <- as.numeric(Ingre_CostoMto_Str)
    Costo_Mto[i] <- Ingre_CostoMto
    Ingre_tmtMto_Str <- readline(paste("Ingrese el tiempo de uso total del recurso al que se aplicó el mantenimiento", i,": "))
    Ingre_tmtMto <- as.numeric(Ingre_tmtMto_Str)
    tmt_Mto[i] <- Ingre_tmtMto
    Ingre_ttuMto_Str <- readline(paste("Ingrese el tiempo del mantenimiento", i,": "))
```

```
  Ingre_ttuMto <- as.numeric(Ingre_ttuMto_Str)
  ttu_Mto[i] <- Ingre_ttuMto
  Ingre_EMto_Str <- readline(paste("Ingrese número de estaciones (separadas por comas) en las que se aplica el mantenimiento", i,": "))
  Ingre_EMto <- as.list(strsplit(Ingre_EMto_Str,","))
  Estaciones_Mto[i] <- Ingre_EMto
  MTO <- MTO + ((Costo_Mto[[i]]/Uni_Mto[[i]])*(1/tstd_Mto[[i]])) + ((HEx)*(tmt_Mto[[i]]/ttu_Mto[[i]])) #Calculo de la sumatoria de mantenimientos
 }
 Mantenimientos <- list(tstd_Mto,Uni_Mto,Costo_Mto,tmt_Mto,ttu_Mto,Estaciones_Mto)
#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
 print("------------------------------------------------------------------------------------------------------------MANO DE OBRA INDIRECTA------------------------------------------------------------------------------------------------------------")
 IndirectLabor_Str <- readline("Ingrese el número de mano de obra indirectas en producción: ")
 IndirectLabor <- as.numeric(IndirectLabor_Str)
 for(i in 1:IndirectLabor){
  Ingre_SalMOI_Str <- readline(paste("Ingrese el salario de la mano de obra indirecta", i,": "))
  Ingre_SalMOI <- as.numeric(Ingre_SalMOI_Str)
  Sal_MOI[i] <- Ingre_SalMOI
  Ingre_ThroMOI_Str <- readline(paste("Ingrese el Throughput bajo supervisión de la mano de obra indirecta", i,": "))
  Ingre_ThroMOI <- as.numeric(Ingre_ThroMOI_Str)
  Thro_MOI[i] <- Ingre_ThroMOI
  Ingre_tsupMOI_Str <- readline(paste("Ingrese el tiempo de supervisión de la mano de obra indirecta", i,": "))
  Ingre_tsupMOI <- as.numeric(Ingre_tsupMOI_Str)
  tsup_MOI[i] <- Ingre_tsupMOI
  Ingre_tttMOI_Str <- readline(paste("Ingrese el tiempo total de trabajo de la mano de obra indirecta", i,": "))
  Ingre_tttMOI <- as.numeric(Ingre_tttMOI_Str)
  ttt_MOI[i] <- Ingre_tttMOI
  MOI <- MOI + ((Sal_MOI[[i]])*(Thro_MOI[[i]]/Thro_Abs)*(tsup_MOI[[i]]/ttt_MOI[[i]])) #Cálculo de la sumatoria de mano de obra indirecta
 }
 Mano_Obra_Indirecta <- list(Sal_MOI,Thro_MOI,tsup_MOI,ttt_MOI)
#------------------------------------------------------------------------------------------------------------OPERACION DEL MODELO BASICO------------------------------------------------------------------------------------------------------------
 G <- round((MTO + MOI),2) #Asignaciones a gasto
 I <- round((HEx + EVE + MPx),2) #Asignaciones a inventario
 Z <- round((Tt - G - I),2) #Respuesta del modelo
#------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
#------------------------------------------------------------------------------------------------------------OPTIMIZACION DEL MODELO------------------------------------------------------------------------------------------------------------
 for(i in 1:Stations){
  for(j in 1:length(Pre_PPE)){
   if(i == Pre_PPE[[j]]){ #Verificacion de precedencias de las estaciones
    t_procesamientos[j] <- tstd_CBs - tstd_Estaciones[[i]] #Calculo de la diferencia de los tiempos de procesamiento y el tiempo del cuello de botella
    t_transporte[j] <- ((DEC_PPE[[j]])/(PEEC_PPE[[j]])) #Calculo del tiempo estándar de trasporte de materia prima entre estaciones
    if(t_transporte[[j]]!=t_procesamientos[[j]]){ #Verificación de armonía del flujo del proceso
     if(t_transporte[[j]]>t_procesamientos[[j]]){
      Deltat_Est[j] <- t_transporte[[j]] - t_procesamientos[[j]] #Tasa de cambio entre los tiempos estándar de procesamiento y transporte
      N_tstd_Est[i] <- tstd_Estaciones[[i]] + Deltat_Est[[j]] #Optimización de throughput y asignación a los nuevos tiempos estándares para iteración
     }else if (t_transporte[[j]]>t_procesamientos[[j]]){
      Deltat_Est[j] <- t_procesamientos[[j]] - t_transporte[[j]]
```

```
          N_tstd_Est[i] <- tstd_Estaciones[[i]] - Deltat_Est[[j]]
        }
      }
    }
  }
#-----------------------------------------------------------------------------NUEVO EVE-----------------------------------------------------------------------------
  Opt_EVE <- Opt_EVE + ((CT_EVE/N_tstd_Est[[i]])/VolT_ET[[i]])
  TEV <- 0
  TEF <- 0
#-----------------------------------------------------------------------------NUEVO MPx-----------------------------------------------------------------------------
  for(w in 1:length(Produ_MP_Est)){
    for(z in 1:Products){
      if(i == as.numeric(Produ_MP_Est[[w]])){
        Opt_MPx <- Opt_MPx + ((Costo_MP/Ops_Productos[[z]])*(1/N_tstd_Est[[i]]))
      }
    }
  }
#-----------------------------------------------------------------------------NUEVO Tt-----------------------------------------------------------------------------
  for(x in 1:length(Estaciones_Productos)){
    if(i == as.numeric(Estaciones_Productos[[x]])){
      N_tstd_EstPP <- N_tstd_Est[[i]]
    }
    Opt_Tt <- Opt_Tt + ((1/N_tstd_EstPP)*(Thro_Productos[[x]]/Thro_Abs)*(Precio_Productos[[x]]))
  }
 }
#-----------------------------------------------------------------------------NUEVO CALCULO-----------------------------------------------------------------------------
 Opt_G <- round((MTO + MOI),2)
 Opt_Inv <- round(HEx + Opt_EVE + Opt_MPx,2)
 Opt_Z <- round((Opt_Tt - G - Opt_Inv),2)
#-----------------------------------------------------------------------------ANALISIS BAYESIANO-----------------------------------------------------------------------------
#-----------------------------------------------------------------------------DATA-----------------------------------------------------------------------------
 Media_tstds_Est <- mean(sapply(tstd_Estaciones, mean)) #Media tiempos estándares por estación de trabajo
 sd_tstds_Est <- sd(sapply(tstd_Estaciones, mean)) #Desviación estándar tiempos estándares por estación de trabajo
 Media_tstd_MTO <- mean(sapply(tstd_Mto, mean))
 LQ_Pois <- Media_tstds_Est - (1.96*sqrt((Media_tstds_Est)/(length(tstd_Estaciones))))
 UQ_Pois <- Media_tstds_Est + (1.96*sqrt((Media_tstds_Est)/(length(tstd_Estaciones))))
 LQ_Gamma_I <- (sum(sapply(tstd_Estaciones,mean))/1)
 UQ_Gamma_I <- (sum(sapply(tstd_Estaciones,mean))/Media_tstds_Est)
 LQ_Gamma_G <- (sum(sapply(tstd_Mto,mean))/Media_tstd_MTO)
 UQ_Gamma_G <- (sum(sapply(tstd_Mto,mean))/1)
 Chi2 <- qchisq(0.95, df=length(tstd_Mto))  #Devuelve el valor de la chi cuadrado en base a un cuartil dado y los grados de libertad
 LQ_Exp <- (Chi2*0.025)/(2*sum(sapply(tstd_Mto,mean)))
 UQ_Exp <- (Chi2*0.975)/(2*sum(sapply(tstd_Mto,mean)))
 P_T <- abs(((pnorm(0.975, Media_tstds_Est, sd_tstds_Est) - pnorm(0.025, Media_tstds_Est, sd_tstds_Est)) * (pnorm(0.975, Media_tstds_Est, sd_tstds_Est) - pnorm(0.025, Media_tstds_Est, sd_tstds_Est))))
 P_TT <- round((P_T * 100),2)
```

```
#Funcion pnorm() devuelve la probabilidad de la función de densidad normal en base al cuartil entregado parámetros: pnorm(Cuartil, Media, DesviacionEstandar)

#Para encontrar la probabilidad con 95% de intervalo de crediblidad acorde al enfoque bayesiano se debe restar el Cuartil superior - el Cuartil inferior para cubrir e

P_G <- abs(((pexp(UQ_Exp, Media_tstd_MTO) - pexp(LQ_Exp, Media_tstd_MTO)) * (pgamma(UQ_Gamma_G, 1, Media_tstd_MTO) - pgamma(LQ_Gamma_G, 1, Media_tstd_MTO))))

P_GT <- round((P_G*100),2)

#Función pexp() devuelve la probabilidad de la función de densidad exponencial en base al cuartil entregado parámetros: pexp(Cuartil, Lamda)

#Función pgamma() devuelve la probabilidad de la función de densidad gamma en base al cuartil entregado parámetros: pgamma(Cuartil, alfa, beta)

#Para encontrar la probabilidad con 95% de intervalo de credibilidad acorde al enfoque bayesiano se debe restar el Cuartil superior - el Cuartil inferior para cubrir el 95% de la función de densidad en un intervalo.

P_Inv <- abs(((ppois(UQ_Pois, Media_tstds_Est) - ppois(LQ_Pois, Media_tstds_Est)) * (pgamma(UQ_Gamma_I, Media_tstds_Est, 1) - pgamma(LQ_Gamma_I, Media_tstds_Est, 1))))

P_IT <- round((P_Inv*100),2)

#Función ppois() devuelve la probabilidad de la función de densidad poisson en base al cuartil entregado parámetros: ppois(Cuartil, Lamda)

#Función pgamma() devuelve la probabilidad de la función de densidad gamma en base al cuartil entregado parámetros: pgamma(Cuartil, alfa, beta)

#Para encontrar la probabilidad con 95% de intervalo de credibilidad acorde al enfoque bayesiano se debe restar el Cuartil superior - el Cuartil inferior para cubrir el 95% de la función de densidad en un intervalo.

#--------------------------------------------------------------------------------IMPRESIÓN DE RESULTADO--------------------------------------------------------------------------------

print("El resultado del modelo:            Z = T - G - I")

print(paste("segun los datos ingresados es: ",round(Z,2),"=",round(Tt,2),"-",round(G,2),"-",round(I,2)))

print(paste("con sus respectivas probabilidades de: T-> ",P_TT,"% | G-> ",P_GT,"% | I->",P_IT,"%"))

FB <- round(((Tt*P_T)-(G*P_G)-(I*P_Inv)),digits = 2)

print(paste("El resultado de la fair bet en base al modelo es: ",FB))

#--------------------------------------------------------------------------------POSTERIOR--------------------------------------------------------------------------------

P_Media_tstds_Est <- mean(sapply(N_tstd_Est, mean)) #Respecto de la optimización. Media tiempos estándares por estación de trabajo

P_sd_tstds_Est <- sd(sapply(N_tstd_Est, mean)) #Respecto de la optimización. Desviación estándar tiempos estándares por estación de trabajo

Opt_LQ_Pois <- P_Media_tstds_Est - (1.96*sqrt((P_Media_tstds_Est)/(length(N_tstd_Est))))

Opt_UQ_Pois <- P_Media_tstds_Est + (1.96*sqrt((P_Media_tstds_Est)/(length(N_tstd_Est))))

Opt_LQ_Gamma_I <- (sum(sapply(N_tstd_Est,mean))/1)

Opt_UQ_Gamma_I <- (sum(sapply(N_tstd_Est,mean))/P_Media_tstds_Est)

Opt_P_T <- abs(((pnorm(0.975, P_Media_tstds_Est, P_sd_tstds_Est) - pnorm(0.025, P_Media_tstds_Est, P_sd_tstds_Est)) * P_TT))

Opt_P_TT <- round((Opt_P_T * 100),2)

Opt_P_I <- abs((pgamma(Opt_UQ_Gamma_I, P_Media_tstds_Est, 1) - pgamma(Opt_LQ_Gamma_I, P_Media_tstds_Est, 1)) * P_IT)

Opt_P_IT <- round((Opt_P_I*100),2)

#--------------------------------------------------------------------------------IMPRESIÓN DE RESULTADO OPTIMO--------------------------------------------------------------------------------

print("El resultado del modelo:                  Z = T - G - I")

print(paste("segun la optimizacion realizada es: ",round(Opt_Z,2),"=",round(Opt_Tt,2),"-",round(G,2),"-",round(Opt_Inv,2)))

print(paste("con sus respectivas probabilidades de: T-> ",Opt_P_TT,"% | G-> ",P_GT,"% | I->",Opt_P_IT,"%"))

Opt_FB <- round(((Opt_Tt*Opt_P_T)-(G*P_G)-(Opt_Inv*Opt_P_I)),digits = 2)

print(paste("El resultado de la fair bet en base al modelo optimizado es: ",Opt_FB))

Main_Bool <- FALSE

}else if(Menu == 2){

  Main_Bool <- FALSE

}
```