



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Orizaba

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

OPCIÓN I.- TESIS

TRABAJO PROFESIONAL

**“DESARROLLO ÓPTIMO DE UN SISTEMA LOGÍSTICO
DE ENSACADO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
AZÚCAR DE CAÑA A TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE
FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y TÉCNICA”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA
INDUSTRIAL**

PRESENTA:

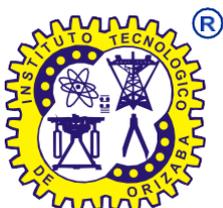
Ing. Germán Jerónimo Serena

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Alberto Alfonso Aguilar Lasserre

CODIRECTOR DE TESIS:

M.I.I. Constantino Gerardo Moras Sánchez



ORIZABA, VERACRUZ, MÉXICO.

AGOSTO 2023

Orizaba, Veracruz, **31/octubre/2023**
Dependencia: **División de Estudios de
Posgrado e Investigación**
Asunto: **Autorización de Impresión**
OPCION: I

C. JERÓNIMO SERENA GERMÁN
Candidato a Grado de Maestro en:
INGENIERÍA INDUSTRIAL
PRESENTE

De acuerdo con el reglamento de Titulación vigente de los Centros e Institutos Tecnológicos Federales del Tecnológico Nacional de México, de la Secretaría de Educación Pública, y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora le hizo respecto a su Trabajo Profesional titulado:

"DESARROLLO ÓPTIMO DE UN SISTEMA LOGÍSTICO DE ENSACADO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR DE CAÑA A TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y TÉCNICA."

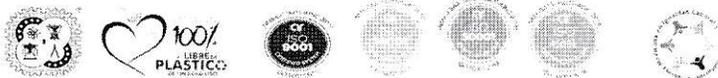
Comunico a usted que este Departamento concede su autorización para que proceda a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®



CUAUHTEMOC SANCHEZ RAMIREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

CSR/magh





Orizaba Veracruz, **Septiembre 07 de 2023**
Asunto: **Revisión de trabajo escrito**

C. CUAUHTÉMOC SANCHEZ RAMIREZ
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
P R E S E N T E.-

Los que suscriben, miembros del jurado, han realizado la revisión de la Tesis del (la) C.:

JERÓNIMO SERENA GERMÁN

La cual lleva el título de:

DESARROLLO ÓPTIMO DE UN SISTEMA LOGÍSTICO DE ENSACADO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR DE CAÑA A TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y TÉCNICA.

y concluyen que se acepta

ATENTAMENTE
Excelencia en Educación Tecnológica®
CIENCIA - TÉCNICA - CULTURA®

PRESIDENTE: **DR. ALBERTO A. AGUILAR LASSERRE**


FIRMA

SECRETARIO: **MII CONSTANTINO GERARDO MORAS SÁNCHEZ**


FIRMA

VOCAL: **MC MAGNO ÁNGEL GONZÁLEZ HUERTA**


FIRMA

VOCAL SUP.: **DR. JOSÉ OCTAVIO RICO CONTRERAS**


FIRMA

TA-09-F18



Declaración de originalidad y cesión de derechos

Orizaba, Veracruz, el día 06 del mes de Noviembre del año 2023.

El(la) que suscribe

C. Germán Jerónimo Serena

Declaro que esta tesis, que tiene una extensión de 123 cuartillas, ha sido escrita por mí y constituye el registro escrito del trabajo de la tesis titulada:

“DESARROLLO ÓPTIMO DE UN SISTEMA LOGÍSTICO DE ENSACADO EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AZÚCAR DE CAÑA A TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA Y TÉCNICA”

del programa: Maestría en Ingeniería Industrial bajo la asesoría y dirección del (la) Dr. Alberto Alfonso Aguilar Lasserre y codirección M.I.I Constantino Gerardo Mora Sánchez y no ha sido sometida en ninguna otra institución previamente.

Todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal y, en los casos que así lo requieran, cuento con las debidas autorizaciones de quienes poseen los derechos patrimoniales. Por lo tanto, me hago responsable de cualquier litigio o reclamación relacionada con derechos de propiedad intelectual, exonerando de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba.

También declaro que, al presentar esta tesis, cedo los derechos del trabajo al Tecnológico Nacional de México campus Orizaba para su difusión, con fines académicos y de investigación, bajo las regulaciones propias de la institución y que si existe algún acuerdo de confidencialidad de la información lo haré saber en forma escrita para que se omitan las secciones correspondientes.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y del director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: depi_orizaba@tecnm.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.



Germán Jerónimo Serena

Dedicatoria

Dedico este proyecto de investigación con profundo agradecimiento y reconocimiento a aquellos que han sido pilares fundamentales en mi trayectoria académica y personal.

A mi querida madre y mis amados hermanos, quienes han sido una constante fuente de motivación y apoyo incondicional. Sin su aliento y confianza en mí, no habría tenido el coraje de embarcarme en esta maestría y alcanzar el cumplimiento de esta importante meta profesional. También dedico este logro a mi padre, quien desde el cielo seguramente sonríe con orgullo ante mis logros.

A mis valiosos compañeros de la maestría, quienes han sido parte esencial de mi desarrollo académico. Su colaboración, motivación, escucha y consejos han sido invaluable. El compañerismo y el apoyo mutuo que hemos compartido han hecho que los obstáculos en el camino fueran más ligeros y superables.

A mis amados amigos y mi cariñosa familia, quienes siempre me han recordado con sus palabras de aliento y confianza en mis habilidades. Su apoyo emocional y la fe que han depositado en mí han sido el impulso necesario para alcanzar cualquier meta que me haya propuesto.

A todos y cada uno de ustedes, les expreso mi más sincero agradecimiento por ser parte de mi vida y por haber contribuido de manera significativa en este proyecto de investigación. Su presencia y apoyo han sido un regalo invaluable que atesoro con gratitud.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a las siguientes personas que han sido fundamentales en el desarrollo de este proyecto de tesis:

A mi madre, una persona a quien admiro enormemente. Su amor y apoyo incondicional han sido la fuerza motriz detrás de mis logros y metas alcanzadas.

A mi padre, quien me ha moldeado como individuo y me cuida desde el cielo. Su influencia ha sido invaluable en mi formación personal y académica.

A mis hermanos. Quienes han sido mis compañeros de vida. Los admiro profundamente y siempre me motivan a convertirme en una mejor persona.

A mis adorables sobrinos, quienes llenan mis días de alegría. Son una parte fundamental en mi vida y me inspiran a seguir adelante.

Al CONACYT, por brindarme apoyo económico durante toda mi maestría. Esta oportunidad ha sido un regalo invaluable en mi formación académica.

Al Instituto Tecnológico de Orizaba, por el tiempo y las enseñanzas que he recibido. Durante mi trayectoria estudiantil, he tenido el privilegio de contar con grandes maestros que verdaderamente inspiran el deseo de seguir aprendiendo.

A mis asesores de tesis, quienes me han brindado su apoyo, conocimiento y han compartido su tiempo para que pudiera desarrollar este trabajo de investigación.

A mis compañeros de maestría, quienes han sido una parte importante de mi trayectoria. Su compañerismo ha hecho más llevadero mi camino en el posgrado.

A todos y cada uno de ustedes, quiero expresar mi más sincero agradecimiento. Su contribución ha sido invaluable en este proyecto y estoy profundamente agradecido por su apoyo y presencia en mi vida.

Resumen

El azúcar es un producto básico en la dieta de los mexicanos, está presente cotidianamente en nuestra mesa en el consumo de refrescos, jugos, néctares, galletas, chocolates y pasteles. Lo que hace que la participación económica de la agroindustria azucarera alcance los 34 mil millones de pesos que equivalen el 0.7% del PIB manufacturero y el 4.7% de la industria alimentaria. Esta actividad genera 32 mil empleos directos y muchos más indirectos, entre proveedores, distribuidores y comerciantes. (Secretaría de Economía, 2019).

A pesar de ser una de las actividades económicas más importantes de México, la industria azucarera presenta un rezago en su estructura como en la maquinaria que utiliza. Esto provoca que los procesos de trabajo se vayan quedando obsoletos y se generen problemas relacionados con la administración.

En las plantas de procesamiento de caña de azúcar, uno de los desafíos que surgen está relacionado con el procedimiento utilizado para empacar el azúcar que se ha producido. Este problema se origina en gran medida debido a la antigüedad y falta de modernización de los equipos empleados en esta tarea. En consecuencia, el proceso de envasado de azúcar todavía se ejecuta de manera manual, lo que conlleva a posibles daños físicos en los trabajadores debido a factores ergonómicos adversos y al manejo de sacos que pesan 50 kg.

Por lo que la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) se encargó de establecer la Norma Oficial Mexicana, NOM-036-1-STPS-2018, Factores de riesgo ergonómico en el Trabajo – Identificación, análisis, prevención y control. Parte 1: Manejo manual de cargas, que, a partir de enero del 2023, todos los ingenios del país deberán hacer modificaciones en las presentaciones de sacos de azúcar, lo que obliga a todas las industrias a cambiar la maquinaria, equipo y proceso de ensacado de azúcar para así cumplir con la norma.

Por lo antes mencionado, el Grupo Porres S.A. de C.V. pretende realizar un análisis de factibilidad económica en cuestión de rentabilidad, costo/beneficio y así poder

comparar los costos del método actual contra los costos en el proyecto CEDIS Veracruz, todo esto con ayuda de una simulación Montecarlo, y, por otro lado, una simulación de eventos discretos para simular las situaciones actuales y futuras, y poder establecer un esquema de operación, tomando en cuenta el requerimiento de equipo, de personal, entre otros. Para finalizar con técnicas de inteligencia artificial como los son los algoritmos genéticos, para buscar mediante modelos matemáticos, los resultados óptimos de las simulaciones, todo esto con el fin de cumplir con la normativa establecida por la STPS.

Abstract

Sugar is a basic product in the diet of Mexicans; it is present daily on our table in the consumption of soft drinks, juices, nectars, cookies, chocolates and cakes. As a result, the economic participation of the sugar agroindustry reaches 34 billion pesos, equivalent to 0.7% of the manufacturing GDP and 4.7% of the food industry. This activity generates 32 thousand direct jobs and many more indirect jobs, among suppliers, distributors and traders (Secretaría de Economía, 2019).

Despite being one of the most important economic activities in Mexico, the sugar industry presents a lag in its structure as in the machinery it uses. This causes work processes to become obsolete and generates problems related to administration.

In sugar cane processing plants, one of the challenges that arises is related to the procedure used to pack the produced sugar. This issue largely stems from the outdated and lack of modernization of the equipment employed in this task. Consequently, the sugar packaging process is still carried out manually, leading to potential physical harm to workers due to unfavorable ergonomic factors and the handling of 50 kg sacks.

Therefore, the Ministry of Labor and Social Welfare (STPS) was responsible for establishing the Mexican Official Standard, NOM-036-1-STPS-2018, Ergonomic Risk Factors at Work - Identification, analysis, prevention and control. Part 1: Manual

handling of loads, that as of January 2023, all sugar mills in the country must make modifications in the presentations of sugar sacks, which obliges all industries to change the machinery, equipment and sugar bagging process in order to comply with the standard.

For the above mentioned, Grupo Porres S.A. de C.V. intends to perform an economic feasibility analysis in terms of profitability, cost/benefit and thus be able to compare the costs of the current method against the costs in the CEDIS Veracruz project, all this with the help of a Monte Carlo simulation, and, on the other hand, a simulation of discrete events to simulate current and future situations, and to establish an operation scheme, taking into account the requirement of equipment, personnel, among others. To finish with artificial intelligence techniques such as genetic algorithms, to search through mathematical models, the optimal results of the simulations, all this in order to comply with the regulations established by the STPS.

Contenido

Introducción	4
Capítulo 1. Generalidades	8
1.1 <i>Introducción.....</i>	8
1.2 <i>Generalidades de la empresa</i>	8
3.2.4.1 Historia	8
3.2.4.2 Enfoque estratégico	9
1.1.2.1 Misión.....	9
1.1.2.2 Visión.....	9
1.1.2.3 Valores.....	10
1.1.2.4 Virtudes	10
1.1.3 Marco geográfico	10
1.1.3.1 Macro localización.....	10
1.1.3.2 Micro localización.....	10
1.3 <i>Generalidades del proyecto</i>	12
1.2.1 Planteamiento del problema	12
1.2.2 Objetivos	16
1.2.2.1 Objetivo general.....	16
1.2.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.2.3 Justificación.....	17
1.2.4 Hipótesis.....	18
1.4 <i>Conclusión.....</i>	19
Capítulo 2. Marco teórico	20
2.1 <i>Introducción.</i>	20
2.2 <i>Proyectos de inversión.....</i>	20
2.2.1 Estudio de factibilidad	21
2.2.2 Factibilidad económica.....	23
2.2.3 Utilización de indicadores de evaluación económica	23
2.2.4 Indicadores para evaluar la factibilidad económica.....	25
2.3 <i>Producción de azúcar de caña.....</i>	33
2.3.1 Sistema de ensacado de azúcar de caña	33
2.3.2 Tipos de ensacadores industriales	35
2.4 <i>Simulación</i>	36
2.4.1 Simulación de eventos discretos.....	37
2.4.2 Simulación Montecarlo	38
2.5 <i>Inteligencia Artificial</i>	40
2.5.1 Algoritmos genéticos.....	41
2.5.1.1 RISKOptimizer	46
2.6 <i>Estado del arte</i>	47
2.7 <i>Conclusión.</i>	61
Capítulo 3. Aplicación.....	62
3.1 <i>Introducción.</i>	62

3.2 Metodología	62
3.3 Desarrollo	65
3.3.1 Reunión con los responsables de la empresa	65
3.3.2 Análisis del estado actual	66
3.3.3 Definición de objetivos y alcance	66
3.3.4 Desarrollo de simulación de eventos discretos	66
3.3.4.1 Formulación del problema	66
3.3.4.2 Recolección de datos y definición del modelo.....	67
3.3.4.3 ¿Es válido?.....	67
3.3.4.4 Construcción del programa.....	67
3.3.4.5 Pruebas piloto	70
3.3.4.6 ¿Es válido?.....	70
3.3.4.7 Diseño de experimentos	72
3.3.4.8 Correr el modelo	73
3.3.5 Análisis económico de simulación Monte Carlo	73
3.3.5.1 Estudio de factibilidad económica	74
3.3.6 Técnica de inteligencia artificial.....	92
3.4 Conclusión.	98
Capítulo 4. Resultados	99
4.1 Introducción.	99
4.2 Simulación de eventos discretos en SIMIO.....	99
4.3 Simulación Monte Carlo en @RISK.....	102
4.4 Algoritmos genéticos en RISKOptimizer.	103
4.5 Conclusión.	108
Conclusiones	109
Referencias bibliográficas	112

Índice de figuras

Figura 1 Micro localización del Ingenio El Modelo.	11
Figura 2 Micro localización del Ingenio San Pedro.	11
Figura 3 Micro localización del Cedis.....	12
Figura 4 Cruce mono punto.	45
Figura 5 Mutación aleatoria.....	45
Figura 6 Metodología.....	63
Figura 7 Cronograma de actividades	63
Figura 8 Modelo de simulación del Cedis.	69
Figura 9 Modelo de simulación del Cedis 2	69
Figura 10 Histograma de TIR – Escenario optimista	83
Figura 11 Coeficientes de regresión de TIR – Escenario optimista	83
Figura 12 Histograma de VPN – Escenario optimista	84
Figura 13 Coeficientes de regresión de VPN – Escenario optimista.....	85
Figura 14 Histograma de periodo de recuperación – Escenario optimista	85
Figura 15 Coeficientes de regresión de periodo de recuperación – Escenario optimista.....	86
Figura 16 Histograma de costo/beneficio – Escenario optimista.....	87

Figura 17	Coeficientes de costo/beneficio – Escenario optimista.....	87
Figura 18	Histograma de TIR – Escenario pesimista.....	88
Figura 19	Coeficientes de TIR – Escenario pesimista.....	89
Figura 20	Histograma de VPN – Escenario pesimista.....	89
Figura 21	Coeficientes de VPN – Escenario pesimista.....	90
Figura 22	Histograma de periodo de recuperación – Escenario pesimista.....	90
Figura 23	Coeficientes de periodo de recuperación – Escenario pesimista.....	91
Figura 24	Histograma de costo/beneficio – Escenario pesimista.....	91
Figura 25	Coeficientes de costo/beneficio – Escenario pesimista.....	92
Figura 26	Definición del modelo.....	94
Figura 27	Modelo de optimización.....	94
Figura 28	Desarrollo de todas las pruebas.....	95
Figura 29	Evolución de los algoritmos genéticos.....	96

Índice de tablas

Tabla 1	Medidas de seguridad para el levantamiento y transporte de cargas.....	14
Tabla 2	Frecuencia de utilización.....	24
Tabla 3	Primer trabajo relacionado con la investigación.....	54
Tabla 4	Segundo trabajo relacionado con la investigación.....	54
Tabla 5	Tercer trabajo relacionado con la investigación.....	55
Tabla 6	Cuarto trabajo relacionado con la investigación.....	56
Tabla 7	Quinto trabajo relacionado con la investigación.....	57
Tabla 8	Sexto trabajo relacionado con la investigación.....	58
Tabla 9	Séptimo trabajo relacionado con la investigación.....	59
Tabla 10	Octavo trabajo relacionado con la investigación.....	59
Tabla 11	Noveno trabajo relacionado con la investigación.....	60
Tabla 12	Decimo trabajo relacionado con la investigación.....	60
Tabla 13	Medida de desempeño – Costos de fletes en un día.....	71
Tabla 14	Número óptimo de corridas del modelo.....	72
Tabla 15	Descripción de costos de inversión.....	75
Tabla 16	Beneficios y costos del proyecto en escenario esperado.....	76
Tabla 17	Estudio de factibilidad económica escenario esperado.....	77
Tabla 18	Beneficios y costos del proyecto en escenario optimista.....	80
Tabla 19	Beneficios y costos del proyecto en escenario pesimista.....	81
Tabla 20	Corridas Piloto de Simulación Monte Carlo.....	81
Tabla 21	Plantilla de algoritmos genéticos.....	93
Tabla 22	Estudio de factibilidad económica escenario más óptimo.....	97
Tabla 23	Estudio de factibilidad económica escenario menos óptimo.....	98
Tabla 24	15 corridas de SIMIO.....	100
Tabla 25	Comparación escenario esperado contra escenarios de SIMIO.....	101
Tabla 26	Comparación de escenario esperado contra escenario optimista, pesimista y escenario con 4 máquinas.....	102
Tabla 27	Comparación de escenario esperado contra escenario más y menos óptimo.....	105
Tabla 28	Rango de escenarios analizados: Del peor al mejor – Parte 1.....	107
Tabla 29	Rango de escenarios analizados: Del peor al mejor – Parte 2.....	108

Introducción

La producción de azúcar en México desempeña un papel fundamental tanto desde una perspectiva económica como social. Se trata de una de las agroindustrias más longevas en el país. La industria azucarera posee una gran relevancia para la nación, ya que acumula décadas de experiencia en la fabricación de azúcar, abarca diversas regiones a lo largo del territorio mexicano dedicadas a su cultivo y representa un artículo de consumo muy demandado. En la actualidad, nos encontramos en una época caracterizada por la apertura comercial, lo que implica una mayor competencia y exige que las industrias cuenten con ventajas distintivas para destacar en este entorno.

Es por eso que la producción del azúcar debe analizarse como un sistema confuso y cambiante, que está conformado por dos subsistemas, el campo y la fábrica, ambos están relacionados con la economía nacional e internacional. Esto nos permite identificar los factores que inciden en la determinación de los costos de producción.

En México, la producción de azúcar se lleva a cabo a través de 49 ingenios ubicados en todo el país. Entre estos, el estado de Veracruz destaca al albergar 18 ingenios, lo que constituye el 40% de la producción a nivel nacional. Solo en el año 2020, esta región generó alrededor de 2 millones de toneladas de azúcar. Este impresionante volumen se obtuvo gracias a la dedicación de 262,000 hectáreas destinadas al cultivo de caña de azúcar, generando empleo de manera directa e indirecta para aproximadamente 145,000 personas en labores de campo y 22,000 en la fase de manufactura. Como resultado, Veracruz sobresale como líder en la producción de caña de azúcar y azúcar refinada a nivel nacional (Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera, 2022).

En el país existen cinco principales empresas dedicadas a la producción de endulcorantes: Beta San Miguel, Zucarmex, Grupo Piasa, Gam y Grupo Porres, que en conjunto producen aproximadamente 2.5 millones de toneladas de azúcar

(estándar y refinada), de los 6 millones que produce México anualmente (Revista Expansión 2022).

Debido a la importancia que representa esta industria para el desarrollo económico de México, es necesario tomar en cuenta que, para tener una buena productividad y crecimiento de las organizaciones dedicadas a esta actividad económica, se debe tomar en cuenta la salud ocupacional de sus trabajadores.

México se rige por leyes que aseguran que los operadores de los centros de trabajo gocen de beneficios y que se salvaguarde su seguridad personal, incluyendo al medio ambiente, a las instalaciones y a los procesos. Esto se encuentra respaldado por la Ley Federal de Trabajo y se complementa con las NOM (Normas Oficiales Mexicanas). Asimismo, dispone de la STPS (Secretaría del Trabajo y Previsión Social), que se encarga de vigilar que todos los centros de trabajo cuenten con disposiciones en materia de seguridad industrial (Muñoz Nieto, 2020)

Según los datos proporcionados por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), se calcula que cada 15 segundos, un empleado pierde la vida debido a incidentes o enfermedades asociadas con su labor. A diario, el saldo fatal llega a 6 mil individuos, como consecuencia de accidentes o problemas de salud derivados de su trabajo. En el contexto mexicano, este número se traduce en más de 2 millones de fallecimientos anuales. Los efectos negativos de esta trágica realidad se reflejan en una carga de proporciones considerables, con un impacto económico que se estima en un 4% del Producto Interno Bruto global, anualmente, debido a las deficientes prácticas en seguridad y salud laboral.

Además, la Organización Mundial de la Salud ha venido alertando sobre los efectos de la globalización y la evolución en la naturaleza del trabajo, los cuales están ejerciendo una creciente presión sobre los empleados debido a las demandas laborales que, en conjunto con diversos elementos de riesgo ergonómico como el sedentarismo, el tabaquismo, el alcoholismo, la necesidad de adquirir nuevas habilidades y cumplir requisitos de aprendizaje, la búsqueda de una mayor productividad, y el desafío de equilibrar el tiempo entre el trabajo y la vida familiar,

entre otros factores, están contribuyendo a la creación de un entorno laboral cada vez más cargado de estrés.

Es por esta razón que la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) ha establecido en la Norma Oficial Mexicana número 36 un marco regulatorio detallado sobre los factores de riesgo ergonómico en el ámbito laboral, específicamente en la identificación, análisis, prevención y control de las situaciones relacionadas con el manejo manual de cargas. Esta norma fija los límites máximos permitidos para el manejo manual de cargas y presenta un análisis exhaustivo de los factores de riesgo ergonómico involucrados, además de proponer medidas concretas de prevención y control asociadas a esta práctica.

El caso particular de los ingenios azucareros en México, ya no será posible hacer sacos de azúcar de 50 kg como tradicionalmente se ha realizado, exigiendo a todas las industrias del país a limitarse a ensacar sus productos en sacos con un contenido máximo de 25 kg, para así tener un cumplimiento de la norma. Por lo cual se obliga a los ingenios azucareros de México a modernizar las instalaciones de ensacado de azúcar, ya que la tecnología actual está limitada por diferentes razones que la hacen obsoleta para cumplir con la norma.

Actualmente, en el Grupo Porres S.A. de C.V., en sus ingenios Santa Clara, Modelo, San Pedro y Huixtla utiliza la tecnología de ensacado de 50 Kg, y debido a la norma anteriormente mencionada y a las modificaciones requeridas, la gerencia de los ingenios de Grupo Porres S.A. de C.V. se encuentra en el análisis de comprobar la rentabilidad de los costos actuales contra los costos que se tendrán al hacer el proyecto CEDIS Veracruz que sería alimentado por los ingenios San Pedro y Modelo, y establecer un esquema de operación del CEDIS.

El presente proyecto se conforma de diferentes secciones que permitirán la resolución de la problemática planteada y el alcance de los objetivos establecidos.

En primer lugar, procedemos a identificar y delinear claramente el problema que será abordado en este estudio. A continuación, llevamos a cabo un análisis

exhaustivo del estado del arte, explorando artículos y trabajos previos relacionados con la problemática, junto con sus respectivas soluciones. En el marco teórico, se presenta una descripción detallada de la información teórica relevante en relación con la investigación en cuestión. En la justificación, se establecen los objetivos del proyecto, tanto el objetivo general como los objetivos específicos que orientarán nuestra labor. A continuación, se plantea la hipótesis del proyecto, seguida por una explicación detallada de la metodología que se empleará para llevar a cabo el desarrollo del proyecto. Además, se presenta un cronograma que detalla las actividades a realizar en el tiempo y se proporciona una lista de las fuentes consultadas en este proceso.

Capítulo 1. Generalidades

1.1 Introducción.

En el primer capítulo, se explorarán los elementos esenciales que conforman la empresa. Aquí, se traza el recorrido histórico, se detalla el enfoque estratégico adoptado, y se exponen la misión, visión, valores y virtudes que guían su accionar. Esta contextualización proveerá un cimiento sólido para comprender el entorno en el cual se materializará el proyecto de investigación. Asimismo, se proporciona el marco geográfico en el que se desarrollará el proyecto, otorgando una perspectiva clara de la ubicación donde se llevarán a cabo las actividades de la tesis.

Las generalidades del proyecto, nos irán dando la idea de la problemática que se maneja, los objetivos que se están buscando al desarrollar este proyecto, la justificación del por qué se tiene que hacer esta investigación y la hipótesis que se tiene del resultado de este proyecto.

1.2 Generalidades de la empresa

3.2.4.1 Historia

Durante la administración del presidente Carlos Salinas de Gortari, en abril de 1988 se puso en marcha el proceso de privatización parcial de los ingenios azucareros. Este camino culminó en mayo de 1990 con la decisión de privatizarlos en su totalidad, organizándolos en paquetes en función de su situación financiera. Uno de estos paquetes incluyó al Ingenio de Huixtla, S.A. de C.V. situado en el Municipio de Huixtla en Chiapas, así como al Ingenio Santa Clara S.A. de C.V. localizado en Santa Clara de Valladares, Municipio de Tecombo, y al Ingenio San Sebastián S.A. de C.V. con sede en San Sebastián, Municipio de Los Reyes de Salgado, ambos en el estado de Michoacán. Estas propiedades fueron adquiridas por el Grupo Porres, marcando su entrada en el sector agroindustrial cañero-azucarero de México.

En el año 1994, se establece la pionera entidad agrícola denominada "Fomento Azucarero S.P.R. de R.L. de C.V.", situada en Chiapas. Esta empresa está enfocada en actividades vinculadas con el cultivo, recolección y transporte de caña de azúcar. Su principal propósito radica en proveer al ingenio con el suministro necesario de caña de azúcar para complementar su abastecimiento.

En 2002, el Grupo Porres anunció el cierre de las operaciones del Ingenio San Sebastián S.A. de C.V. Esto se debió a la reducción en la disponibilidad de caña de azúcar en la zona, causada por la introducción de nuevos cultivos que impactaron negativamente en la capacidad de producción del ingenio.

En 2005, se establece la segunda empresa agrícola bajo la administración del Grupo Porres. Esta entidad lleva por nombre "Cañaverales Mexicanos S.P.R. de R.L. de C.V." y se encuentra ubicada en Tepalcatepec, Michoacán.

En el año 2009 se privatiza el Ingenio San Pedro ubicado en el Municipio de Lerdo de Tejada en el estado de Veracruz, el cual es adquirido por el Grupo Porres en la licitación pública promovida por el Servicio de Administración y Enajenación de Bienes (SAE), y en el 2011 se crea la tercera empresa agrícola "Excelencia Cañera S. P. R. de R.L. de C.V. ubicada en Veracruz para garantizar el suministro de caña al Ingenio (Ingenio Azucarero Modelo, 2018).

3.2.4.2 Enfoque estratégico

1.1.2.1 Misión

Ser una agroindustria de caña de azúcar y sus derivados, rentable y socialmente responsable; a través del compromiso e integración de su capital humano, la innovación y eficiencia de sus procesos dando cumplimiento al marco legal y requisitos de sus clientes.

1.1.2.2 Visión

Ser el mejor grupo agropecuario de México, proporcionando:

1. El mejor producto en calidad y servicio para nuestros clientes.
2. El mejor crecimiento y desarrollo para nuestro personal.
3. El mejor trato para nuestros proveedores.
4. El mejor crecimiento y rentabilidad para nuestros accionistas.

1.1.2.3 Valores

Confiabilidad.

Trabajo en equipo.

Desarrollo integral.

1.1.2.4 Virtudes

Honestidad e integridad.

Espíritu de servicio.

Austeridad.

1.1.3 Marco geográfico

1.1.3.1 Macro localización

El Grupo Porres está dedicando sus esfuerzos a la ejecución de este proyecto, el cual se abastecerá mediante dos de sus ingenios: el Ingenio El Modelo, situado en el municipio de José Cardel, y el Ingenio San Pedro, localizado en el municipio de Lerdo de Tejada, ambos ubicados en el estado de Veracruz.

Por otro lado, se está planificando la ubicación del Centro de Distribución (CEDIS) en las cercanías del municipio de Veracruz. Este enfoque busca seleccionar un punto estratégico que optimice tanto las entradas como las salidas de este centro.

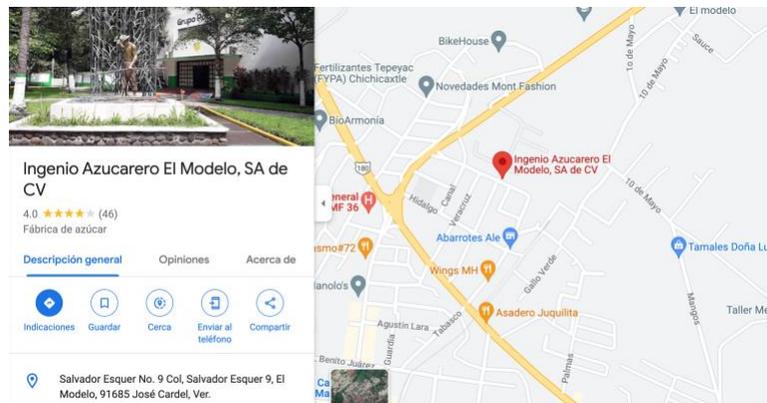
1.1.3.2 Micro localización

Específicamente, el Ingenio El Modelo se encuentra en la calle Salvador Esquer, número 9, Colonia Salvador Esquer, José Cardel, Veracruz, México, CP: 91685

(véase Figura 1) se encontrará a 30.7 km del CEDIS y el Ingenio San Pedro se la calle Camino Vecinal Lerdo a Salta Barranca, sin número, Colonia Lerdo Santa Barranca, Lerdo de Tejada, Veracruz, México, CP:95280 (véase Figura 2) se encontrará a 112 km del CEDIS.

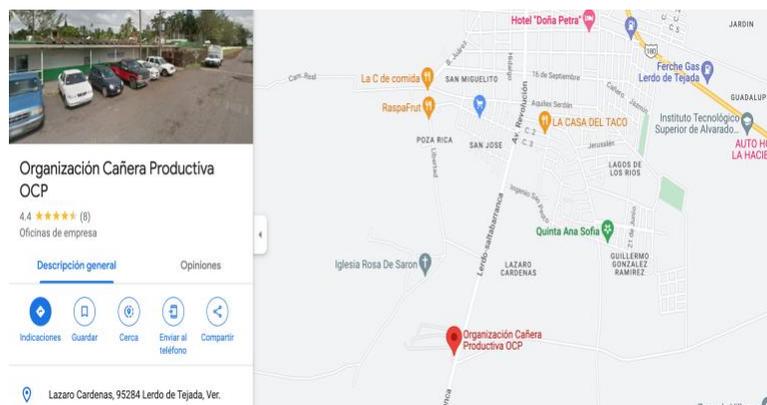
Con respecto al CEDIS ya se tiene un terreno escogido para la construcción, por lo que se ubicara sobre la carretera que conecta Xalapa – Veracruz, en el municipio Buenos Aires, Veracruz (véase Figura 3).

Figura 1 Micro localización del Ingenio El Modelo.



Nota. Obtenido de Google Maps. <https://goo.gl/maps/EGhd2zLcKU9t59ay7>

Figura 2 Micro localización del Ingenio San Pedro.



Nota. Obtenido de Google Maps. <https://goo.gl/maps/LWoLxqrWrYZnRixS7>

Figura 3 Micro localización del CEDIS.



Nota. Obtenido de Google Maps. <https://goo.gl/maps/Croz5pTfWKx4L73N8>

1.3 Generalidades del proyecto

1.2.1 Planteamiento del problema

La agroindustria de la caña de azúcar es un importante motor económico de México, ya que se estima que genera un valor aproximado entre 40 y 50 mil millones de pesos, esto en función del precio que se esté manejando para la caña (Gobierno de México, 2021).

El valor económico de este cultivo se basa en tres atributos: 1) es una especie altamente productiva; 2) es muy eficiente en el uso de insumos y recursos productivos; y 3) puede ser procesada de manera local y generar productos con valor agregado, tales como sacarosa, melaza, etanol y energía, todos ellos de fácil manejo, almacenamiento y transporte (Gómez Merino & Senties Herrera, 2015).

En la actualidad, un total de 49 ingenios azucareros se encuentran en pleno funcionamiento, siendo respaldados por una red de más de 170 mil productores agrícolas. Basado en el segundo cálculo estimado para la producción de caña y azúcar en la zafra 2020/21, reportado el 4 de febrero de 2021, se proyecta una producción de azúcar que alcance las 6,059,942 toneladas.

De acuerdo con los datos proporcionados por la Cámara Nacional de las Industrias Azucarera y Alcoholera, se estima que alrededor de 500,000 familias están vinculadas a la agroindustria azucarera. Esta industria involucra a 182,279 proveedores de caña, 153,714 trabajadores temporales, 69,971 individuos en funciones de corte de caña, 31,318 profesionales en transporte, 34,916 empleados afiliados a sindicatos, 7,689 trabajadores en puestos de confianza y 11,822 jubilados. Además, genera 500,000 empleos de manera indirecta y 2.4 millones de empleos de manera indirecta en áreas rurales que abarcan 267 municipios en México.

El viaje de transformación de la caña de azúcar comienza en los ingenios azucareros, instalaciones industriales dedicadas a procesar, transformar e industrializar esta planta. El procedimiento para obtener azúcar involucra nueve etapas: 1) el corte de la caña, 2) la molienda, 3) la generación de vapor, 4) el calentamiento, 5) la clarificación, 6) la filtración, 7) la evaporación, 8) la cristalización y 9) el proceso de evaporación y secado. Luego, se entra en la fase de refinación, donde se llevan a cabo etapas de separación de sólidos, alcalinización, clarificación, decoloración, filtración, evaporación, cristalización y, finalmente, centrifugado y secado mediante corrientes de aire. De esta forma, el azúcar está listo para su empaquetado y distribución. A lo largo de este proceso se generan cuatro tipos de azúcar: mascabado, estándar, refinado y blanco. Cada variedad se distingue por la cantidad de veces que ha sido sometida a procesamiento, es decir, refinamiento. El azúcar mascabado es la forma menos procesada (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

En la industria azucarera todavía existe un problema con el sistema de prevención de accidente laborales y es que estas dificultades se desarrollan por la falta de información y el poco entendimiento de las leyes nacionales de salud ocupacional.

Los accidentes más recurrentes en la industria azucarera están vinculados tanto a las labores de procesamiento como al corte de la caña de azúcar. Los elementos que pueden repercutir en la salud de los trabajadores abarcan factores como el ruido

y las vibraciones, las condiciones termo hidrométricas, los agentes químicos y biológicos, los peligros mecánicos y eléctricos, los riesgos asociados al transporte y a los lugares de trabajo, así como las condiciones de higiene y saneamiento. Estos riesgos también se derivan del entorno ambiental y ecosistémico, las demandas laborales de la organización, la distribución y naturaleza de las tareas, así como las demandas derivadas de la actividad física. Estos son los elementos de riesgo que serán tomados en consideración en el desarrollo del proyecto.

Tal como se presentó en la introducción, la Norma Oficial Mexicana NOM-036-1-STPS-2018 aborda la temática de los factores de riesgo ergonómico. En este contexto, la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) define a los factores de riesgo ergonómico como aquellos elementos que pueden generar esfuerzos físicos excesivos, movimientos repetitivos o posturas forzadas durante la realización de una tarea laboral. Estos factores pueden dar lugar a fatiga, errores, accidentes y enfermedades relacionadas con el trabajo. Su origen radica en el diseño de las instalaciones, la maquinaria, el equipo, las herramientas o el puesto de trabajo.

Dentro de la norma se establecen los límites permitidos para la manipulación manual de cargas (es decir, tareas realizadas por personas) y se detallan los análisis relacionados con los factores de riesgo ergonómico. Además, se presentan medidas de prevención y control en relación con la manipulación manual de cargas. Esta norma fue publicada el 23 de noviembre de 2018. Sin embargo, en el primer periodo de transición se determinó que la NOM entraría en vigor a partir del 2 de enero de 2020. No obstante, se extendió la fecha de entrada en vigor hasta el 4 de enero de 2023.

Derivado de esta nueva normativa, con aplicación en todo el territorio nacional, se obliga a las empresas de todos los giros industriales, comerciales o de servicios, a limitar las maniobras de levantamiento y transporte.

En los ingenios azucareros en México, solía ser común la manipulación de sacos de 50 kg; sin embargo, debido a esta normativa, esta práctica ya no será posible. Esto se debe a que en la sección ocho de la norma, que aborda las medidas de

prevención y control de los riesgos ergonómicos asociados a la manipulación manual de cargas, en el subapartado 8.3 relativo a las acciones para realizar actividades que involucran el manejo manual de cargas, se estipula la obligación de adoptar medidas preventivas o de seguridad para el levantamiento y transporte de cargas. En la **Tabla 1** proporcionada por la Secretaría de Gobernación en 2018, se establece lo siguiente.

Tabla 1 Medidas de seguridad para el levantamiento y transporte de cargas.

Masa máxima kg	Género	Edad (en años)
7	Femenino	Menores de 18
	Masculino	
15	Femenino	Mayores de 45*
	Femenino	Entre 18 y 45
20	Masculino	Mayores de 45*
	Masculino	Entre 18 y 45

Nota. La figura muestra las medidas de seguridad para el levantamiento y transporte de cargas de acuerdo con el género y edad de la persona. Tomado de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5544579&fecha=23/11/2018, por Secretaría de Gobernación, 2018, Diario Oficial de la Federación.

Esto está obligando a los ingenios azucareros de México a acondicionar las instalaciones de ensacado de azúcar, debido a que la tecnología actual se quedaría obsoleta. Todo esto derivado de la NOM anteriormente mencionada.

Actualmente, el Grupo Porres S.A. de C.V. tiene en proceso el proyecto “CEDIS-Veracruz” que sería alimentado por dos de sus ingenios (San Pedro y Modelo), con este proyecto se pretende analizar la rentabilidad, costo/beneficio, costos de operación, el requerimiento de equipo, y hacer una comparativa del costo actual en ingenios utilizando la tecnología de ensacado de 50 kg, contra los costos en el CEDIS con tecnología de ensacado de 25 kg.

1.2.2 Objetivos

En este apartado se presentan el objetivo general y los específicos del trabajo de investigación, los cuales serán cumplidos durante el desarrollo del proyecto.

1.2.2.1 Objetivo general

Analizar la rentabilidad económica, el estudio costo/beneficio y la operación logística al implementar un nuevo proceso de ensacado en un sistema de producción de azúcar de caña y analizar los posibles escenarios.

1.2.2.2 Objetivos específicos

- a) Organizar una reunión con los directivos de la empresa con la finalidad de conocer el proceso que realizan, la organización del trabajo, costos de operación, requerimiento de equipo, así como recabar información de la problemática, proponer alternativas de solución y establecer objetivos, alcance y limitaciones del proyecto.
- b) Establecer un esquema de operación para ayudar a visualizar en detalle el método presente pudiendo así proponer nuevos y mejores procedimientos.
- c) Desarrollar un modelo de simulación mediante simulación de eventos discretos con la finalidad de presentar a los directivos de la empresa un modelo que permita visualizar y analizar el comportamiento del CEDIS Veracruz en cuestión del proceso de ensacado.
- d) Desarrollar un análisis económico a través de la simulación Monte Carlo con la finalidad de presenta a los directivos de la empresa la rentabilidad y el costo/beneficios del nuevo CEDIS Veracruz.
- e) Utilizar algoritmos genéticos como herramienta para realizar un análisis exhaustivo de una variedad de escenarios de toma de decisiones, con el objetivo de identificar y concretar la opción más óptima.

1.2.3 Justificación

La salud ocupacional es una práctica multidisciplinaria que tiene como objetivo fomentar y salvaguardar la salud de los trabajadores. Esta disciplina se orienta hacia la gestión de los riesgos para la salud y los peligros de accidentes en el entorno laboral. La prevención de problemas de salud se ha convertido en uno de los fundamentos del sistema de salud, gracias a los numerosos beneficios que conlleva. En este proyecto, nuestro enfoque se dirigirá hacia los aspectos económicos de dichos beneficios.

En este caso, se buscará comparar el método actual con bultos de 50 kg, y el método nuevo en el CEDIS Veracruz, con la aplicación de la NOM-036-1-STPS-2018 que garantiza la protección de la salud de los trabajadores, estableciendo los elementos para identificar, analizar, prevenir y controlar los factores de riesgo ergonómico en los centros de trabajo.

Dentro de la normativa, se establece una obligación para los empleadores: implementar medidas de prevención y control destinadas a disminuir o eliminar los factores de riesgo en el ámbito laboral. También se demanda el seguimiento de la salud de los trabajadores, comunicarles las modificaciones derivadas de la manipulación manual de cargas y proporcionar capacitación en seguridad laboral. Uno de los cambios más notorios es la modificación del límite de carga manual, que ahora se reduce a un máximo de 25 kg.

Como ya se ha mencionado, la industria del azúcar es una de las más importantes del país debido a su gran aporte a la economía y el desarrollo del mismo. Pero se presentan rezagos tanto en su maquinaria utilizada y la estructura física. Haciendo por consiguiente que los procesos de trabajo se vayan quedando obsoletos y se generen problemas relacionados con la administración.

El problema que se presenta en los ingenios en la actualidad es la manera en la que se ensaca la azúcar producida, ya que, debido a la obsolescencia de la maquinaria,

el proceso de ensacado de azúcar se realiza de forma manual, lo que puede llegar a ocasiona lesiones en los empleados.

Con la NOM-036-1-STPS-2018, se busca normalizar esta problemática con respecto al manejo y traslado de cargas pesadas, por lo que está obligando a las empresas de todos los giros industriales a limitar las maniobras de levantamiento y transporte de carga a una masa máxima permitida dependiendo del género y edad del trabajador.

En este caso particular, ya no será posible ensacar azúcar en sacos de 50 kg como se está haciendo en el proceso actual, sino que ahora el contenido máximo permitido será de 25 kg, para asegurar el cumplimiento de la norma. Por lo que se obliga a los ingenios azucareros de México a modernizar las instalaciones de ensacado con tecnología actual, por lo que se propone el nuevo método de trabajo en el proyecto CEDIS Veracruz.

Por lo antes mencionado, se pretende realizar un análisis de factibilidad económica en cuestión de rentabilidad, costo/beneficio y así poder comparar los costos del método actual contra los costos en el proyecto CEDIS Veracruz, todo esto con ayuda de una simulación Montecarlo, y, por otro lado, una simulación de eventos discretos para simular las situaciones actuales y futuras, y poder establecer un esquema de operación, tomando en cuenta el requerimiento de equipo, de personal, entre otros. Para finalizar con una técnica de inteligencia artificial como los son los algoritmos genéticos, para buscar mediante modelos matemáticos, los resultados óptimos de las simulaciones, todo esto con el fin de cumplir con la normativa establecida por la STPS.

1.2.4 Hipótesis

La evaluación integral del Proyecto CEDIS Veracruz, a través de la combinación de la simulación de eventos discretos, el estudio de factibilidad económica con simulación Monte Carlo y la aplicación de algoritmos genéticos, permitirá un análisis completo de su viabilidad. Estos enfoques abordarán los aspectos económicos,

considerando costos y potencial de rentabilidad, alineados con los requisitos de la norma NOM-036-1-STPS-2018.

1.4 Conclusión.

Una vez que hemos adquirido un profundo conocimiento acerca de los aspectos fundamentales de la empresa, incluyendo su historia, misión, visión, valores y enfoque operativo, contamos con una sólida base sobre la cual podemos cimentar nuestra comprensión de las tareas encomendadas. Además, al examinar detalladamente el contexto geográfico en el cual se desenvuelve la empresa, logramos obtener una representación visual precisa de la ubicación donde se llevará a cabo este proyecto.

Al mismo tiempo, al considerar las características esenciales del proyecto en cuestión, logramos obtener una visión completa de cómo abordar la problemática planteada, así como una comprensión clara de la justificación subyacente y las hipótesis formuladas para esta investigación. Este conocimiento recopilado nos permite iniciar la búsqueda de información pertinente que respalde la construcción de nuestro marco teórico.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1 Introducción.

En esta sección, nos concentraremos en el análisis detallado de la información que se maneja en los proyectos de inversión, ya que este aspecto constituye el núcleo central de la tesis. Nuestro objetivo principal es evaluar la viabilidad de dicho proyecto. Asimismo, es crucial adquirir un entendimiento profundo del proceso de producción de azúcar de caña, dado que este proceso desempeña un papel crucial en el contexto de nuestra investigación. Por lo tanto, resulta imperativo familiarizarnos exhaustivamente con esta información.

Además, abordaremos la consideración de los diversos tipos de simulación que se aplicarán en función de las hipótesis planteadas. Para culminar, exploraremos en detalle los algoritmos genéticos, herramientas ampliamente utilizadas en el campo de la inteligencia artificial y que desempeñan un rol destacado en nuestro estudio.

2.2 Proyectos de inversión

Un proyecto es la materialización de una concepción o idea que busca lograr un objetivo específico. Implica consideraciones en cuanto a la inversión, metodología y tecnología que se aplicará para concretar la idea. La investigación asociada a un proyecto tiene como finalidad satisfacer diversas necesidades humanas en ámbitos como alimentación, salud, educación, vivienda, religión, defensa, cultura y entretenimiento, entre otros.

Para llevar a cabo la ejecución del proyecto, se requiere tomar decisiones estratégicas y asignar recursos adecuados. Estas decisiones se basan en la información disponible y en cómo se aprovecha. Un proyecto involucra la presentación de datos objetivos y la evaluación de hechos, buscando establecer

conclusiones intermedias que definan la esencia del proyecto sin permitir múltiples interpretaciones.

En esencia, un proyecto implica la presentación detallada tanto en aspectos físicos como administrativos de una inversión a realizarse en el futuro. Esto incluye la proyección de sus implicaciones económicas y financieras. En resumen, un proyecto aborda la descripción minuciosa de los detalles y la estructura de la inversión venidera, mientras establece las posibles consecuencias esperadas en términos económicos y financieros.

Cuando se discute sobre proyectos, se está tratando con un plan de inversión. La inversión puede entenderse como la oportunidad de inmovilizar recursos con el fin de obtener un rendimiento en un período de tiempo razonable. Por lo tanto, un proyecto debe ser una presentación ordenada de información objetiva, dispuesta metodológicamente de manera satisfactoria. Debe crear un contexto armónico y coherente, buscando la simplicidad y concisión para facilitar la toma de decisiones en función de la idoneidad de ciertas inversiones.

El enfoque de un proyecto es interdisciplinario, ya que amalgama fundamentos esenciales de la economía, la ingeniería, las finanzas y la administración en su conjunto.

2.2.1 Estudio de factibilidad

Según Varela, el término "factibilidad" se refiere a las probabilidades de éxito de un proyecto particular. El estudio de factibilidad constituye un análisis emprendido por una empresa para evaluar la viabilidad del negocio propuesto, identificando tanto los aspectos positivos como los negativos. Asimismo, se persigue la definición de estrategias clave que permitan asegurar el éxito de dicha empresa.

Según el Diccionario de la Real Academia Española, la factibilidad es la "cualidad o condición de factible". Factible "que se puede hacer".

El estudio de factibilidad se utiliza para recopilar datos relevantes sobre el desarrollo de un proyecto y con ello tomar la mejor decisión. Su análisis se realiza cuando el desarrollo del sistema no tiene una justificación económica establecida, existe un alto riesgo tecnológico, operativo, jurídico o no se cuenta con una alternativa clara de implementación (Baca U., 1998).

El estudio de factibilidad es la calificación del potencial del éxito del proyecto, la posibilidad de que la realización de un producto haya sido aprobada y se obtengan los resultados esperados. Es el análisis de una empresa para determinar si el negocio que se propone será bueno o malo. Además, determina si dicho negocio contribuye con la conservación, protección o restauración de los recursos naturales y el ambiente (Luna, 2001).

Objetivos de un estudio de factibilidad:

- Reducción de errores y mayor precisión en los procesos.
- Reducción de costos mediante la optimización o eliminación de los recursos no necesarios.
- Integración de todas las áreas y subsistemas.
- Actualización y mejoramiento de los servicios a clientes o usuarios.
- Hacer un plan de producción y comercialización.
- Aceleración en la recopilación de los datos.
- Reducción en el tiempo de procesamiento y ejecución de las tareas.
- Automatización óptima de procedimientos mensuales.
- Disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos señalados.
- Saber si es posible producir con ganancias.
- Conocer si la gente comprará el producto.
- Definir si tendremos ganancias o pérdidas.
- Decidir si lo hacemos o buscamos otro negocio.
- Iniciar un negocio con el máximo de seguridad y el mínimo de riesgos posibles.

- Obtener el máximo de beneficios o ganancias.

2.2.2 Factibilidad económica

La evaluación de la factibilidad económica desempeña un papel esencial al llevar a cabo el análisis de costos y beneficios del sistema. Este proceso se traduce en la capacidad de establecer si existe viabilidad económica para la implementación del proyecto en cuestión.

La Factibilidad económica se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización (Arias, 2006).

Se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos y/o para obtener los recursos básicos que deben considerarse son el costo del tiempo, el costo de la realización y el costo de adquirir nuevos recursos. Generalmente, la factibilidad económica es el elemento más importante ya que a través de él se solventan las demás carencias de otros recursos, es lo más difícil de conseguir y requiere de actividades adicionales cuando no se posee (León, 2009).

2.2.3 Utilización de indicadores de evaluación económica

John Graham y Cambell Harvey realizaron el año 2001 un completísimo estudio del uso de las diferentes técnicas y modelos enunciados en la “teoría financiera de la empresa” por parte de 392 directivos de un amplio espectro de empresas norteamericanas sus principales conclusiones son: “las grandes empresas confían firmemente en las técnicas de valor actual y en el modelo de valoración de activos de capital mientras que las empresas pequeñas están relativamente a gusto utilizando el criterio del plazo de recuperación.

Un sorprendente número de compañías utilizan el riesgo de la empresa más bien que el riesgo del proyecto en la valoración de nuevas inversiones. Las empresas están preocupadas acerca de la flexibilidad financiera y de la calificación crediticia cuando emiten deuda, y acerca de la dilución de los beneficios por acción y la apreciación del precio del título cuando emiten acciones.

Se encuentra algún apoyo a las hipótesis de la estructura del capital de la teoría de la jerarquía de las fuentes de financiación (pecking-order theory) y el uso de ratios de apalancamiento óptimos (trade-off theory), pero hay poca evidencia de que los directivos estén preocupados por la sustitución de activos, la información asimétrica, los costes de transacción, los flujos de caja libres o los impuestos personales”.

En la **Tabla 2** se presentan los resultados correspondientes a la sección del estudio centrada en la aplicación de modelos para evaluar proyectos de inversión. Es evidente que los criterios de la tasa interna de rendimiento y el valor actual neto son los más empleados (en el caso de empresas de gran tamaño, ambos se utilizan en un 85%, mientras que en las pequeñas empresas se emplean en un 71%). El plazo de recuperación ocupa un lugar destacado en la preferencia de métodos, especialmente en pequeñas empresas, donde se emplea en un 68%. Sin embargo, el plazo de recuperación descontado se utiliza aproximadamente la mitad de las veces en comparación con su contraparte no descontada. Además, es relevante resaltar la tendencia creciente hacia la utilización de la metodología de opciones reales en la valoración de proyectos, como se ha observado en estudios previos (Graham y Harvey, 2001).

Tabla 2 Frecuencia de utilización

Métodos	Utilización
<i>Tasa interna de rendimiento (TIR)</i>	75.61%
<i>Valor actual neto (VAN)</i>	74.93%
<i>Tasa de rendimiento requerida</i>	56.94%
<i>Plazo de recuperación</i>	56.74%
<i>Análisis de sensibilidad</i>	51.54%

<i>Múltiplo de beneficios</i>	38.92%
<i>Plazo de recuperación descontado</i>	29.45%
<i>Opciones reales</i>	26.59%
<i>Tasa de rendimiento contable</i>	20.29%
<i>Simulación/Valor en riesgo (VAR)</i>	13.66%
<i>Índice de rentabilidad</i>	11.87%
<i>Valor actual ajustado</i>	10.78%

Fuente: Graham y Harvey, 2001.

2.2.4 Indicadores para evaluar la factibilidad económica

- **Flujo de Caja**

El presupuesto de efectivo es un informe de las entradas y salidas de efectivo planeadas de la empresa que se utiliza para calcular sus requerimientos de efectivo a corto plazo, con particular atención a la planeación en vista de excedentes y faltantes de efectivo. Una empresa que espera un excedente de efectivo puede planear inversiones a corto plazo, en tanto que una empresa que espera faltantes de efectivo debe disponer del financiamiento a corto plazo. Se utiliza para analizar la viabilidad de proyectos, siendo éste la base de cálculo del Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno (Peña, 2007).

De manera habitual, el flujo de caja se compone mediante una matriz organizada en columnas y filas. En las columnas se distribuyen los intervalos temporales, comúnmente en meses, mientras que en las filas se registran las entradas y salidas de fondos.

Las entradas es todo el dinero que ingresa a la empresa por sus actividades productivas, ya sea por venta de servicios o productos. Las salidas es todo el dinero que sale de la empresa y que es necesario para llevar a cabo su actividad productiva (Peña, 2007).

$$\text{Flujo de caja} = \text{Entradas (Ingresos)} - \text{Salidas (Costos)} \quad \text{Ecuación 1}$$

- **Valor Actual Neto (VAN)**

El Valor Actual Neto (VAN) generalmente se describe como el valor presente de los flujos de efectivo anticipados. Los flujos de efectivo aquí se refieren a las entradas y salidas de dinero. Para definirlo con mayor claridad, podríamos decir que el VAN se representa como la cantidad actualizada resultante de comparar los flujos de efectivo entrantes y salientes generados por un proyecto a lo largo de su ciclo de vida. Este cálculo implica descontar los flujos a una tasa de interés constante durante la duración del proyecto, lo que simplifica la fórmula de cálculo del VAN de la siguiente manera:

$$VAN = -I + \frac{FC_1}{(1+k)^1} + \frac{FC_2}{(1+k)^2} + \frac{FC_n}{(1+k)^n} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

I = Inversión inicial

FC = Flujo de caja

n = Período de vida útil

k = Tasa de descuento

Un aspecto primordial en para el cálculo del VAN es definir la tasa de descuento a utilizar. La tasa de descuento es la rentabilidad mínima que se le exige al proyecto. En la determinación de la misma, se deben tener en cuenta factores objetivos como: las tasas de interés a que la empresa y el país reciben recursos financieros, los niveles de rentabilidad de la rama económica a que pertenece el proyecto, el riesgo financiero, y también criterios subjetivos relacionados a la experiencia y al buen juicio de quien evalúa la inversión (Rodríguez, 2006).

Los criterios de decisión del VAN son:

- $VAN > 0$ El proyecto puede aceptarse, implica que se produce un rendimiento superior al mínimo requerido y el proyecto producirá ganancias.
- $VAN = 0$ Dado que el proyecto no agrega valor monetario, la decisión debería basarse en otros criterios, tales como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado, beneficios sociales, u otros factores. El proyecto no producirá ni ganancias ni pérdidas.
- $VAN < 0$ El proyecto debe rechazarse debido a que éste producirá pérdidas, solo se aceptará un proyecto con VAN menor que cero si éste tiene un alto impacto en la sociedad (Rodríguez, 2006).

Ventajas:

Sencillez de cálculo: Requiere operaciones matemáticas básicas para su evaluación.

Considera todo el ciclo de vida del proyecto y sus flujos de efectivo: Aborda la totalidad del proyecto y sus corrientes monetarias.

Incorpora la dimensión temporal de los flujos: Al homogeneizar los flujos netos de efectivo a un punto en el tiempo ($t = 0$), ajusta las cantidades de dinero recibidas en distintos momentos para reflejar el valor variable de cada unidad monetaria según su disponibilidad temporal.

Desventajas:

Dificultad en la determinación de la tasa de descuento adecuada: La identificación de la tasa de interés apropiada puede ser complicada debido a la imperfección del mercado de capitales.

Complejidad en la aplicación debido a la imperfección del mercado de capitales: El mercado de capitales no siempre es ideal, lo que agrega complejidad para determinar la tasa de descuento.

Falta de comprensión por parte de los tomadores de decisiones: Los profesionales empresariales no siempre comprenden completamente este concepto, ya que están más acostumbrados a pensar en términos de tasas de rendimiento del capital (Rodríguez, 2006).

- **Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Rendimiento (TIR), se define como aquella tasa de actualización o descuento r , que hace cero la rentabilidad absoluta neta de la inversión. Es decir, aquella tasa de descuento que iguala el valor actual de la corriente de cobros con el valor actual de la corriente de pagos. Analíticamente el criterio de la TIR se expresa como sigue:

$$TIR = -I + \frac{FC_1}{(1+r)^1} + \frac{FC_2}{(1+r)^2} + \frac{FC_n}{(1+r)^n} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde se requiere hallar aquel valor de r que iguala a 0 los flujos de caja del proyecto y que representa, por tanto, su Tasa Interna de Rendimiento. En síntesis, la TIR se calcula igual que el VAN, la única diferencia es que se estiman aquellas tasas de actualización que hacen el VAN = 0, lo que se alcanza en un proceso de aproximaciones sucesivas (Rodríguez, 2006).

Los criterios de decisión de la TIR son:

- $r > k$ Se debe realizar el proyecto debido a que la rentabilidad del proyecto es mayor que el costo de oportunidad del capital.
- $r < k$ No se realizar el proyecto, solo se aceptaría para proyectos de financiamiento, en los cuales el propósito del proyecto es pedir un determinado préstamo por el cual hay que pagar intereses a una tasa k .
- $r = k$ El decisor es indiferente entre realizar el proyecto o no. (Rodríguez, 2006).

Ventajas:

Homogeneización de las cantidades de dinero: Similar al VAN, esta ventaja es fundamental, ya que consolida todas las sumas monetarias del proyecto en un mismo punto temporal, proporcionando una perspectiva unificada de las corrientes de efectivo.

Visualización de rentabilidad relativa: La TIR brinda una representación más intuitiva de la rentabilidad del proyecto, expresándola en términos relativos por unidad monetaria.

Independencia respecto a la tasa de descuento: No se requiere conocer la tasa de descuento (k) para calcular la TIR, aunque esto es una ventaja relativa, ya que la inversión solo es viable si $r > k$. A pesar de ello, si la rentabilidad del proyecto es considerablemente alta, es lógico asumir que r supera a k , evitando la necesidad de precisar el valor exacto de esta última.

Desventajas:

Dificultades en el cálculo: El cálculo de la TIR puede resultar complejo, ya que implica una ecuación de grado n con la incógnita de la TIR. La resolución de este tipo de ecuaciones es laboriosa y a menudo requiere un enfoque de aproximaciones sucesivas.

Procedimiento de aproximaciones sucesivas: La determinación exacta de la TIR implica la utilización de procedimientos de cálculo iterativos, lo que puede ser más demandante en comparación con otros métodos (Rodríguez, 2006).

- **Periodo de recuperación (PR)**

Este indicador evalúa la cantidad de años necesarios para recuperar la inversión inicial en un proyecto a través de las utilidades netas generadas por el mismo, incluyendo la depreciación y los gastos financieros. En términos más simples, representa el tiempo que transcurre desde el inicio de la explotación hasta el momento en que se logra el primer saldo positivo, marcando el periodo de

recuperación de la inversión. La siguiente fórmula simplificada puede ser utilizada para su cálculo:

$$PR = t_n + \frac{|SA_1|}{|SA_1| + SA_2} - m \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

t_n = Número de años con saldo acumulado negativo desde el primer gasto anual de inversión (incluyendo la construcción).

SA_1 = Valor absoluto del último saldo acumulado negativo.

SA_2 = Valor absoluto del primer saldo acumulado positivo.

m = Período de tiempo de la construcción y el montaje.

Ventajas:

Su cálculo es sencillo, es fácil de entender y favorece la preferencia por la liquidez.

Desventajas:

Es un enfoque estático, lo que significa que no considera la inflación o la devaluación del dinero con el tiempo. No abarca la totalidad de la vida útil del proyecto, lo que implica que no toma en cuenta los ingresos generados después del período de recuperación. Además, requiere de un estándar de comparación para tomar decisiones informadas.

- **Análisis del costo-beneficio**

El análisis de costo-beneficio es un proceso que abarca la evaluación de proyectos o esquemas de toma de decisiones en diversos contextos. En esencia, implica determinar los costos y beneficios totales de diferentes alternativas con el fin de elegir la más rentable o beneficiosa. Este enfoque se basa en la combinación de técnicas gerenciales y financieras con aspectos de las ciencias sociales, presentando tanto costos como beneficios en términos monetarios estándar para permitir una comparación directa.

La técnica de costo-beneficio está estrechamente vinculada con la teoría de la decisión. Su objetivo principal es evaluar la conveniencia de un proyecto a partir de la evaluación de los costos y beneficios asociados. La relación entre estos elementos, expresados en términos monetarios, conlleva a su posterior valoración y análisis.

Esta metodología no se limita al ámbito empresarial, sino que también se aplica a proyectos sociales, colectivos e individuales, requiriendo una atención especial a las implicaciones económicas y/o sociales. El propósito es tomar la decisión más adecuada y rentable entre varias soluciones o propuestas.

Vale la pena mencionar que tomar decisiones implica elegir entre cursos de acción alternativos, considerando el costo de oportunidad, que representa lo que se sacrifica al rechazar la siguiente mejor opción. Siguiendo esta línea, uno de los principios fundamentales del análisis de costo-beneficio es que toda solución, alternativa o propuesta, tiene un costo asociado, independientemente de su adecuación para resolver un problema.

La Razón Beneficio/Costo (B/C) es un índice definido como la proporción entre los beneficios y los costos de un proyecto. Su cálculo se basa en comparar el valor presente de las entradas futuras de efectivo con el valor presente del gasto inicial. Dividiendo el flujo de beneficios descontados entre el flujo de costos, esta métrica también toma en cuenta el valor temporal del dinero. Si existen costos adicionales aparte de la inversión inicial, el cálculo del B/C debe considerarlos mediante la comparación del Valor Actual Neto (VAN) de los flujos de efectivo de ingresos con el VAN de todos los egresos, independientemente del periodo en que ocurran.

Finalmente, para evaluar un proyecto y tomar la mejor decisión, se evalúa comparando el valor descontado de cada alternativa, se analiza cuál de las distintas opciones ofrece un mejor rendimiento sobre la inversión y se determina cuál de las soluciones proporciona los mayores beneficios en relación con los costos o recursos invertidos. (Aguilera A., 2017)

Expresado de la siguiente manera:

$$\frac{C}{B} = \frac{\text{Beneficios netos}}{\text{Costos de inversión}} \quad \text{Ecuación 5}$$

- **EBITDA del Proyecto**

El EBITDA es un indicador financiero representado mediante un acrónimo que significa en inglés Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization (Beneficio antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones).

El beneficio contable, que es una medida que habitualmente se ha tenido en cuenta, es en realidad una ficción y puede esconder, en su cálculo, distintas asunciones que distorsionan su utilidad ya que ni refleja el rendimiento operativo (al incluir el coste financiero, que depende de la estructura de financiación de la empresa, o las amortizaciones que dependen del plan de amortización que cada empresa decida o del tipo de equipamientos que requiera), ni es una estimación del cash-flow (ya que las amortizaciones y depreciaciones son un gasto que no supone desembolso).

El EBITDA tiene la ventaja, por lo tanto, de eliminar el sesgo de la estructura financiera, del entorno fiscal (a través de los impuestos) y de los gastos “ficticios” (amortizaciones). De esta forma, permite obtener una idea clara del rendimiento operativo de las empresas, y comparar de una forma más adecuada lo bien o mal que lo hacen distintas empresas o sectores en el ámbito puramente operativo.

Se calcula a partir del resultado final de explotación de una empresa, sin incorporar los gastos por interés o impuestos, ni las disminuciones de valor por depreciaciones o amortizaciones, para mostrar así lo que es el resultado puro de la empresa. Por lo tanto, los elementos financieros (intereses), tributarios (impuestos), externos (depreciaciones) y de recuperación de inversión (amortizaciones), deben quedar fuera de este indicador. El propósito del EBITDA es obtener una imagen fiel de lo que la empresa está ganando o perdiendo en el núcleo de su negocio.

En términos generales, lo que el EBITDA hace, es determinar las ganancias o la utilidad obtenida por una empresa o proyecto, sin tener en cuenta los gastos financieros, los impuestos y demás gastos contables que no implican salida de dinero en efectivo, como las depreciaciones y amortizaciones. En otras palabras, el EBITDA nos dice: Hasta aquí el proyecto es rentable y, en adelante, dependerá de su gestión que el proyecto sea viable o no. (Bonmatí J. 2012)

2.3 Producción de azúcar de caña

El proceso de transformación de la caña de azúcar se inicia en un ingenio azucarero, una instalación industrial dedicada a la procesamiento, transformación e industrialización de esta planta. El proceso para obtener azúcar se lleva a cabo a través de nueve etapas secuenciales: 1) corte de la caña, 2) molienda, 3) generación de vapor, 4) calentamiento, 5) clarificación, 6) filtración, 7) evaporación, 8) cristalización, 9) evaporado y secado. Luego de estas etapas, se procede a la refinación, donde ocurren procesos como la separación de sólidos, alcalinización, clarificación, decoloración, filtración, evaporación, cristalización, centrifugado y, finalmente, secado mediante corrientes de aire. De esta manera, el azúcar se encuentra listo para ser envasado y comercializado.

Este proceso culmina en la obtención de cuatro tipos de azúcar: mascabado, estándar, refinado y blanco. Cada variante se diferencia por la cantidad de veces que ha sido sometida a refinamiento, lo que da lugar a diferentes niveles de procesamiento. El azúcar mascabado, el cual ha tenido un menor número de etapas de refinamiento, representa el primer nivel en esta escala (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

2.3.1 Sistema de ensacado de azúcar de caña

La ensacadora industrial desempeña un papel fundamental en diversas industrias que trabajan con materiales a granel. Esta maquinaria especializada se concentra en una etapa específica del proceso industrial: el envasado del producto. La

principal función de la ensacadora consiste en facilitar la inserción del material a granel en sacos de distintos formatos. Dependiendo del tipo de material a granel que se esté manipulando, se empleará un tipo particular de saco que mejor se adapte a las características del producto.

El producto se puede comercializar en diferentes formatos y presentaciones. Esto lleva a otra función especial de la ensacadora. Además de servir para rellenar fácilmente los sacos sin tener que hacer esfuerzos, también es utilizada para calcular la cantidad que se tiene que ingresar en cada saco. La ensacadora tiene doble función: envasar y dosificar el producto.

Las ensacadoras están en todas las industrias en las que se manipulan grandes cantidades de graneles. Dichos productos pueden ser alimentarios o no alimentarios. De esta manera se tienen ensacadoras en la industria alimentaria, como las fábricas de harinas y cereales, o en las envasadoras de legumbres y frutos secos; pero también en las plantas de áridos, cementos o pellets, productos que se transportan y comercializan en graneles o en sacos.

Las ensacadoras pueden utilizar dos tipos de sacos. El saco de boca abierta y el saco de válvula. El saco de boca abierta tiene un extremo completamente abierto, por el que se introduce el producto, y otro completamente cerrado. Ese extremo abierto se sella posteriormente para que no se derrame el producto. La boca abierta facilita el llenado en la ensacadora. Este tipo de saco es el que se utiliza normalmente en la ensacadora semiautomática porque es más fácil y rápido de colocar.

Los sacos de válvula se distinguen por tener un extremo completamente cerrado y el otro extremo también sellado, excepto por un pequeño orificio o válvula a través del cual se realiza el llenado. La particularidad del saco de válvula radica en que a medida que se llena, el orificio se cierra automáticamente debido a la presión del aire que sale. Al concluir el llenado, únicamente queda un pequeño orificio que es fácil de sellar. En contraste, los sacos de boca abierta requieren un sellado completo del extremo.

Las ensacadoras cuentan con una tolva (un receptáculo situado en la parte superior), donde se introduce el granel. La tolva tiene capacidad para contener una gran cantidad de producto, suficiente como para poder rellenar varios sacos. En el extremo de la tolva, se sitúa una boca estrecha que sirve para llenar los sacos. Estos se colocan manual o automáticamente en esa boca para su llenado.

La función de dosificación se realiza con un mecanismo de pesaje (báscula ensacadora) que normalmente es digital. Se hace un pesaje exacto de la cantidad que tiene que caer en el saco. En otras ensacadoras más básicas, la cantidad se dosifica por volumen. El granel cae en un receptáculo inferior que es capaz de contener la cantidad aproximada que cabe en un saco.

2.3.2 Tipos de ensacadores industriales

- **Ensacadora semiautomática.** Son ensacadoras muy habituales en pequeñas industrias de graneles alimentarios, aunque también se pueden ver en plantas de procesamiento de residuos vegetales (pellets). En las ensacadoras semiautomáticas, el proceso de llenado está automatizado, pero es necesario colocar los sacos manualmente en el soporte de llenado. El llenado de la tolva se hace con una cinta transportadora o sinfín que vierte el granel que posteriormente será envasado en los sacos. Las ensacadoras semiautomáticas son máquinas bastante compactas, que se pueden colocar en cualquier punto de la fábrica. Es una herramienta muy versátil y con un fácil mantenimiento.
- **Ensacadoras automáticas.** En las ensacadoras automáticas todo el proceso está automatizado. La tolva se llena mediante una cinta o sinfín, y el saco se coloca de forma automática por unos brazos que lo ponen en su sitio y lo sujetan hasta que termina el llenado. A continuación, el saco pasa a la máquina de sellado para completar el proceso.
- **Ensacadoras manuales.** Son máquinas más simples y menos habituales. En el proceso de llenado y ensacado se hace por gravedad. Incluye un dosificador en la parte inferior y se llena cuando el operario abre una válvula

que está en la tolva. Después se coloca el saco en el orificio de salida y se aguanta hasta que se llena. El proceso es completamente manual, no hay ningún mecanismo eléctrico ni electrónico.

Las ensacadoras también se pueden clasificar por el tipo de sacos que utilizan, que pueden ser de válvula o de boca abierta. También se pueden diferenciar según la industria a la que van destinadas. Las ensacadoras para graneles alimentarios están construidas con materiales propios de esta industria, como el acero inoxidable para uso alimentario.

2.4 Simulación

Thomas H. Naylor (1975) define la simulación como *“una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo”*.

La definición anterior se encuentra en un sentido muy abierto, pues puede abarcar desde una maqueta, hasta un programa de computadora muy sofisticado. En un sentido más específico, H. Maisel y G. Gnugnoli, definen la simulación como: *“una técnica numérica para realizar experimentos en una computadora digital, estos experimentos involucran ciertos tipos de modelos matemáticos y lógicos que describen el comportamiento de sistemas de negocios, económicos, sociales, biológicos, físicos químicos a través de largos periodos de tiempo”*.

Otros estudiantes del tema, como Robert E. Shannon, definen a la simulación como: *“es el proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se puede operar el sistema”*.

Las definiciones anteriores no detallan si los sistemas modelados son continuos o discretos (Coss Bu, 2003). No obstante, se requiere especificar que el presente trabajo de investigación está dedicado al diseño, análisis y validación de eventos discretos.

2.4.1 Simulación de eventos discretos

La modelación matemática y la simulación por computadora son métodos para adquirir comprensión acerca del funcionamiento de sistemas. Un sistema puede ser cualquier entidad cuyas características se buscan analizar. Siguiendo este enfoque, cualquier fuente que contenga datos potenciales puede ser interpretada como un sistema.

Una manera de comprender el funcionamiento de un sistema es a través de la experimentación. Este enfoque ha sido utilizado durante siglos para avanzar en el entendimiento. Un experimento consiste en obtener datos de un sistema después de haber aplicado una acción externa sobre él.

Una alternativa a la experimentación con el sistema real es crear un modelo del sistema y llevar a cabo experimentos con él. Un modelo es una representación del sistema diseñada con un propósito específico.

Se emplean diversas metodologías para modelar sistemas, incluyendo los modelos mentales, que ayudan a comprender y prever el comportamiento de los sistemas; los modelos verbales, donde el funcionamiento del sistema se describe en palabras; los modelos físicos, que buscan replicar el sistema real, como maquetas; y los modelos matemáticos. Estos últimos establecen relaciones matemáticas entre las variables relevantes del sistema, tales como distancias, velocidades, flujos, entre otros.

En ciertas circunstancias, las relaciones matemáticas que componen los modelos son simples y pueden resolverse mediante métodos analíticos. Sin embargo, la mayoría de los modelos no pueden ser abordados analíticamente y requieren ser

estudiados con la ayuda de computadoras a través de métodos numéricos. Este procedimiento numérico que se ejecuta en el modelo matemático se denomina simulación.

Un modelo dinámico es aquel que incorpora la variable tiempo en su estructura. Estos modelos se clasifican en tres categorías: de tiempo discreto, de eventos discretos y de tiempo continuo.

En los modelos de tiempo y eventos discretos, los valores de las variables solo pueden cambiar en momentos específicos, manteniéndose constante el intervalo de tiempo. Estos cambios se denominan eventos y es necesario que el número de eventos en un intervalo de tiempo sea finito. La distinción entre estos modelos radica en que, en el primer tipo, los eventos ocurren en instantes de tiempo predeterminados y equidistantes, mientras que en el segundo esto no es necesariamente así. Las variables utilizadas en ambos tipos de modelos se conocen como variables de tiempo discreto.

En un modelo de tiempo continuo, las variables pueden experimentar cambios de manera continua a medida que transcurre el tiempo. En este tipo de modelos, las variables son denominadas variables de tiempo continuo, ya que sus valores pueden variar en una gama ininterrumpida de valores a lo largo de un intervalo temporal.

2.4.2 Simulación Montecarlo

La simulación de Monte Carlo (SMC) es una herramienta estadística que permite la modelación de resultados de acuerdo con el comportamiento histórico de los datos y su probabilidad de ocurrencia.

Esta herramienta utiliza los sistemas de información organizacional (datos históricos) y la aleatoriedad para evaluar la posibilidad de ocurrencia de un evento. Con la aplicación de este método en la proyección de los estados financieros, la administración de una organización puede determinar la probabilidad de ocurrencia

de escenarios factibles o no factibles, con el objetivo de tomar decisiones sobre variables controlables.

Se necesita la identificación de variables claves que afectan el resultado, para aplicar la SMC, además de la distribución de probabilidad que defina el comportamiento de estas variables.

El objetivo de las simulaciones es reproducir las características y comportamientos de un sistema real, es decir, imitar su comportamiento a través de la administración de un modelo que 3 simula la realidad. La SMC permite la evaluación del comportamiento de las variables que participan en el problema cuando no se tiene certeza sobre el comportamiento que estas van a tener (Salazar Jiménez & Alzate Castro).

El uso de la SMC se remonta a finales de la década de 1940, cuando John von Neumann y Stanislaw Ulam acuñaron el término "análisis de Monte Carlo" para aplicarlo a una técnica matemática que luego usaron para resolver problemas específicos.

El análisis de Monte Carlo incluye una solución de un problema de probabilidad matemática, por simulación de un proceso estocástico que tiene una distribución de momento o probabilidad que satisface las relaciones matemáticas del problema.

Recibió el nombre de Monte Carlo en referencia al Casino de Monte Carlo, ubicado en el Principado de Mónaco, que es considerada la "capital del juego de azar".

A continuación, se enlista el procedimiento general del método de la SMC (Ramirez Barrera & Ramírez Nieve, 2018).

Paso 1. Identificación del sistema complejo.

Paso 2. Detección de una situación de toma de decisiones.

Paso 3. Identificación de la variable aleatoria y su espacio de muestreo.

Paso 4. Recolección de datos de la variable aleatoria.

Paso 5. Identificación de la función de probabilidad o construcción del cuadro de frecuencias absolutas y relativas.

Paso 6. Construcción de la función de probabilidad acumulada.

Paso 7. Determinación o construcción del cuadro de la transformada inversa de la función de probabilidad acumulada.

Paso 8. Generación de un número aleatorio.

Paso 9. Simulación de un valor aleatorio específico de la variable aleatoria mediante el cálculo con la sustitución del número aleatorio en la transformada inversa de la función de probabilidad acumulada o con la asignación de este en el cuadro de la función de probabilidad acumulada.

2.5 Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial (IA) es un campo de estudio que comprende tecnologías computacionales para llevar a cabo tareas que aparentemente requieren inteligencia cuando son llevadas a cabo por humanos (Tanimoto, 1987). El problema fundamental de la IA radica en la representación del conocimiento, búsqueda, percepción e inferencias. El conocimiento puede estar disponible de muchas maneras tales como colecciones de aseveraciones lógicas, reglas heurísticas, procedimientos, correlaciones, entre otras. Gran parte de la IA es relativa con el diseño y entendimiento de esquemas que representan el conocimiento. De qué manera puede ser representado el conocimiento para que pueda ser utilizado fácilmente en el razonamiento, pueda ser fácilmente examinado y actualizado y pueda ser juzgado fácilmente como relevante o irrelevante para problemas particulares.

El objetivo más importante de la IA es incrementar el entendimiento del hombre del razonamiento, aprendizaje y procesos perceptuales. Este entendimiento es deseable por dos razones, es necesario para poder construir herramientas útiles y es necesario para conseguir una visión madura de la inteligencia humana.

2.5.1 Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos son una técnica de resolución de problemas de búsqueda y optimización basada en la teoría de la evolución de las especies y de la selección natural. La evolución es en realidad un método de búsqueda entre una cantidad enorme de posibilidades para soluciones; puede ser vista también como un método para diseñar soluciones innovadoras para problemas complejos. Finalmente, visto desde una perspectiva más amplia, la evolución es bastante simple, las especies evolucionan mediante variaciones aleatorias (vía mutación, recombinación y otros operadores) seguidas por la selección natural en la que los elementos más aptos tienden a sobrevivir y reproducirse propagando su material genético para futuras generaciones. (Mitchell, 1996)

Los algoritmos genéticos pueden ser útiles para dos distintos propósitos. El primero es la selección de parámetros para optimizar el funcionamiento de un sistema. El segundo propósito está relacionado con probar y adecuar modelos cuantitativos, es decir busca parámetros que optimicen una función de aptitud (Roubos & Setnes, 2001).

Los elementos principales de un algoritmo genético son presentados a continuación, las definiciones son tomadas de (Araujo & Cervigón, 2009):

1.- Representación de los individuos.

En los algoritmos genéticos, los individuos son representados como cadenas binarias que corresponden a puntos "x" en el espacio de soluciones del problema. Es crucial contar con un método para transformar la representación binaria al espacio de búsqueda natural del problema. En otras palabras, inicialmente se

convierten los individuos del espacio natural en códigos binarios, y una vez que se ha encontrado una solución viable, el resultado se transforma nuevamente al espacio natural del problema.

2. Generación de la población inicial.

Los individuos en la población inicial son cadenas compuestas por unos y ceros, generados de manera aleatoria. En otras palabras, se crea un gen mediante una función que tiene igual probabilidad de devolver un uno o un cero. Es de gran importancia que la población inicial presente una diversidad adecuada para explorar todas las áreas dentro del espacio de soluciones.

3. Grado de adaptación de los individuos

La evolución de la población está directamente relacionada con la calidad de los individuos que compiten por participar en la reproducción y por tanto asegurar la perpetuidad de sus genes. Esta característica se mide por la adaptación de cada individuo para convertirse en una solución al problema. Generalmente los problemas son representados como funciones matemáticas a optimizar.

4. Condiciones de terminación.

Son las condiciones que deben cumplirse para que el algoritmo genético deje de evolucionar y presente la mejor solución encontrada. La condición más utilizada es poner un número fijo y límite para el número de generaciones de evolución. Otras soluciones son alcanzar determinada calidad o detectar que la mayor parte de la población ha convergido a una forma similar por lo que el nivel de diversidad es tan bajo que no tiene caso continuar con la evolución.

5. Proceso de selección

La población se somete a un proceso de selección que tiende a aumentar la cantidad de copias de los individuos más adaptados, es decir, aquellos que

contribuyen a mejorar la solución. Existen diversas formas de llevar a cabo esta selección:

a) Selección proporcional o por ruleta.

La probabilidad de seleccionar determinado individuo es proporcional a su adaptación relativa.

$$P_i = \frac{f(i)}{\bar{f}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$P_i =$ Probabilidad de selección

$i =$ Individuo

$\bar{f} =$ Adaptación media de la población

Paso 1: se genera un número aleatorio que respete la distribución de probabilidad dada por los p_i .

Paso 2: Se definen las puntuaciones acumuladas:

$$q_0 = 0 \quad \text{Ecuación 7}$$

$$q_i = p_1 + \dots + p_i \quad \forall i = 1, \dots, n \quad \text{Ecuación 8}$$

Paso 3: generación de un número aleatorio $a \in [0,1]$

Paso 4: se selecciona al individuo i que cumpla con:

$$q_{i-1} < a < q_i \quad \text{Ecuación 9}$$

b) Muestreo estocástico universal

Es similar al muestreo por ruleta, pero con la particularidad de que se genera un solo número aleatorio, a partir del cual se generan los números necesarios para seleccionar a todos los individuos requeridos. Estos números se calculan:

$$a_j := \frac{a + j - 1}{k} \quad \forall j = 1, \dots, k \quad \text{Ecuación 10}$$

c) Selección por torneo

Se elige una pequeña muestra aleatoria de la población y de ella se selecciona al individuo que arroje el mejor valor de adaptación. Este proceso se repite hasta tener el número deseado de individuos a seleccionar. La selección puede llevarse a cabo de forma determinista o probabilística.

d) Muestreo por restos

Con este tipo de selección se garantizan copias de los mejores individuos sin intervención del azar. El azar es utilizado solamente en la parte de los individuos a seleccionar para completar la muestra. En otras palabras, de cada individuo de la población se seleccionan determinado número de copias dependiendo de la probabilidad de selección del individuo. El número de individuos restantes para completar el tamaño de muestra se seleccionan por alguno de los métodos anteriores.

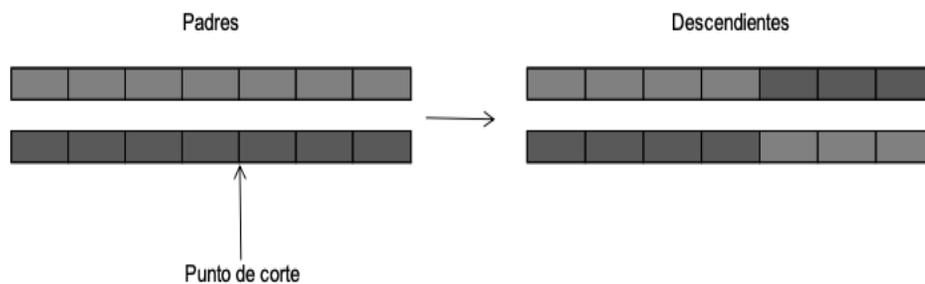
6. Proceso de reproducción

Cada nueva generación cuenta con individuos que no estaban presentes en la población anterior, por lo cual el algoritmo genético va teniendo acceso a nuevas regiones del espacio de solución factible. Estos nuevos individuos son generados mediante operadores genéticos que son aplicados a individuos de la población anterior. Estos operadores son la mutación y cruce.

a) Cruce mono punto

El cruce monopunto implica seleccionar al azar una posición en las cadenas de ambos padres y luego intercambiar las partes de los padres divididas por la posición seleccionada. Este proceso genera dos hijos que combinan las características de ambos padres, lo que puede resultar en una mejora en la adaptación de los hijos con respecto a los padres. Un ejemplo visual de este proceso se puede observar en la **Figura 4**.

Figura 4 Cruce mono punto.

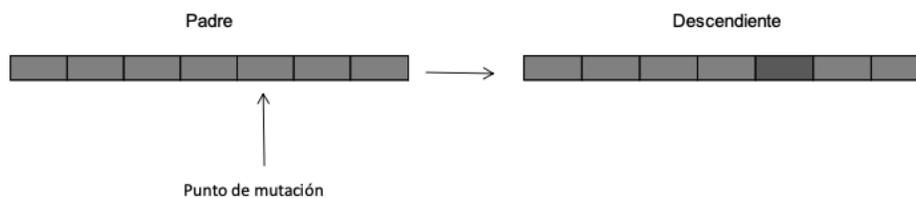


Fuente: Castro Vivar I. (2019)

b) Mutación aleatoria

La mutación aleatoria consiste en alterar el valor de una posición en la cadena, es decir, si el valor es cero, se convierte en uno y viceversa. Este proceso se ilustra en la **Figura 5** como mutación aleatoria.

Figura 5 Mutación aleatoria.



Fuente: Castro Vivar I. (2019)

7. Proceso de reemplazo

Se pueden considerar dos tipos de algoritmos genéticos en función de la cantidad de individuos que son reemplazados:

1. Generacionales. La población se renueva completamente de una generación a otra.
2. Estacionarios. Se incluye en cada nueva población a la descendencia de los individuos seleccionados, reemplazando por tanto a algunos de los individuos de la población anterior. Es decir, una parte de la población se va conservando generación tras generación.

Los criterios de reemplazo más usuales son:

- a) Reemplazo de los padres. Los hijos toman el lugar de los padres.
- b) Reemplazo aleatorio. Se eligen aleatoriamente a los individuos que serán eliminados, cuyo número será resultado del tamaño de la descendencia, que a su vez depende de las tasas de cruce y mutación y el tamaño de la población.
- c) Reemplazo de los individuos peor adaptados. Se eligen aleatoriamente a los individuos a ser eliminados pero solamente entre aquellos que tienen valores de adaptación más bajos.
- d) Reemplazo de individuos de adaptación similar. Individuos nuevos reemplazan a individuos de la población anterior que tengan un valor de adaptación similar.

2.5.1.1 RISKOptimizer

El RISKOptimizer es una herramienta que integra la simulación y la optimización para permitir la optimización de modelos que incluyen valores inciertos. Combina la tecnología de simulación de Monte Carlo de @RISK, un software auxiliar de análisis de riesgo desarrollado por Palisade, con las últimas capacidades de resolución para

optimizar modelos en hojas de cálculo de Excel que contienen elementos de incertidumbre.

Según la página de soporte de @RISK, el módulo RISKOptimizer se describe como una herramienta que encuentra las mejores soluciones para cualquier problema, teniendo en cuenta simultáneamente la incertidumbre presente en los datos.

El RISKOptimizer identifica la combinación óptima de variables de entrada y evalúa el riesgo asociado a cada estrategia. Esto permite buscar estrategias que minimicen los riesgos mientras cumplen con sus objetivos.

Para abordar cualquier problema de optimización, el proceso implica reemplazar los valores inciertos con funciones de distribución de probabilidad provenientes de @RISK. Estas funciones representan un rango de valores posibles. Durante cada iteración de la optimización, RISKOptimizer realiza una simulación de Monte Carlo, donde evalúa diferentes combinaciones de celdas ajustables. El programa encuentra así la combinación que proporciona los resultados óptimos de la simulación, teniendo en cuenta tanto los objetivos de optimización como la incertidumbre en los datos.

2.6 Estado del arte

Uno de los elementos de mayor relevancia en México es su producción proveniente de la agricultura. La agroindustria en México juega un rol de mucha importancia en la economía del país, ya que se ha señalado que la agricultura representa el 3.46% del PIB (Producto Interno Bruto) según datos del 2019 del Banco Mundial.

La agroindustria en México representa una vía crucial para brindar autosuficiencia a millones de personas que residen en zonas rurales. A lo largo del tiempo, este sector ha evolucionado mediante la incorporación de maquinaria avanzada, la implementación de procesos más sofisticados y una mayor diversificación en la producción.

Debido a la importancia que tiene a nivel económica la industria azucarera y los ingenios que la conforman, se han desarrollado proyectos de inversión, estudios de factibilidad y análisis económicos que evalúan las oportunidades que tiene el negocio de la industria azucarera y su impacto en la economía nacional e internacional.

(Matos Ramírez & Martínez López, 2014) proponen aplicar redes neuronales que fueran lo suficientemente eficientes para la predicción de la cantidad de camiones necesarios, de forma que con el empleo de las técnica de aprendizaje se puedan desarrollar herramientas de apoyo y toma de decisiones para directivos vinculados a la industria azucarera y adaptarlas a las especificidades de cada proceso. Para su desarrollo se hizo una base de datos apoyada por sistemas basados en el conocimientos y sistemas basados en casos, con el fin de definir los atributos de esta red neuronal, que cuenta con 10 variables de entrada y 1 variable de salida que es la cantidad optima de transporte.

En el artículo de Dalmeida Decio (2022), se destaca la percepción de la inteligencia artificial como una herramienta esencial en la industria para mejorar la eficiencia y la productividad. La implementación del sistema S-PAA, que posibilita la simulación y optimización en tiempo real de los procesos, se presenta como un avance significativo. Además, se subraya la integración de la inteligencia artificial en la gestión de datos a través de algoritmos y la conectividad, que incluso se extiende hacia la robótica y el internet de las cosas.

Un aspecto de gran interés radica en la ubicación de los ingenios en la nube. Esto está relacionado con la capacidad de acumular grandes volúmenes de datos, emplear algoritmos para procesarlos y establecer una interconexión masiva entre sistemas y dispositivos digitales. Este enfoque en la nube representa un cambio significativo en la forma en que se maneja la información y se aprovecha para optimizar los procesos en la industria, marcando un paso importante en la adopción de tecnologías avanzadas para lograr una mayor eficiencia y productividad en el sector agroindustrial.

En el trabajo realizado por Rabassa Olazábal, González Suárez, Pérez Sanchez, Miño Valdés y Pérez Martínez (2016), se presenta un procedimiento completo para identificar, evaluar y validar oportunidades de negocios en las instalaciones de la industria azucarera cubana. Su enfoque involucra la creación de un diagrama heurístico especialmente diseñado para identificar las principales opciones de procesos de producción industrial en esta industria.

Para llevar a cabo este procedimiento, se consideraron criterios fundamentales como aspectos técnicos, económicos, sociales, ambientales y factores de riesgo. Mediante la aplicación de herramientas de Análisis de Gestión de Desarrollo, lograron visualizar y comparar diferentes opciones de negocios, con el objetivo de determinar la alternativa más viable y beneficiosa.

El resultado de la evaluación condujo a la identificación de indicadores positivos en términos técnicos, económicos y ambientales, específicamente en la producción de D-xilosa y glucosa a partir de los residuos de la caña de azúcar, como el bagazo. Además, establecieron un procedimiento metodológico que sirve como guía para evaluar oportunidades de negocio en la industria azucarera, proporcionando un enfoque sistemático y estructurado para la toma de decisiones en esta área.

En el estudio llevado a cabo por Castro Marin y Quiñonez Preciado (2016), se realizó un análisis exhaustivo sobre la medición del Valor Económico Agregado (EVA) en un ingenio azucarero ubicado en el Valle de Cauca. El objetivo principal del análisis fue identificar y comprender los productos y factores que influyen en la generación o destrucción del valor de la compañía. De esta manera, se buscaba identificar los elementos que podrían mejorar y mantener eficientemente el valor de la empresa, con la meta de maximizar la inversión de los accionistas.

El análisis se centró en la determinación de las variables clave que impactan en el valor del ingenio azucarero. Entre estas variables, se identificaron los costos operacionales, los gastos administrativos y los ingresos operacionales, los cuales están directamente relacionados con las actividades desarrolladas por la empresa. Estos factores se revelaron como elementos fundamentales que generan valor para

el ingenio y, por ende, influyen en la capacidad de la empresa para aumentar su valor económico.

A través de este análisis, se pudo obtener una visión más profunda de cómo las distintas variables y actividades impactan en la generación de valor en el contexto del ingenio azucarero. Este conocimiento resulta esencial para la toma de decisiones informadas y estratégicas que busquen maximizar el valor de la inversión de los accionistas y mejorar la eficiencia económica de la empresa.

A su vez, (López & Zamora, 2020) presentaron una evaluación técnica y económica a nivel de prefactibilidad para la instalación de un ingenio azucarero de azúcar común tipo A. Realizaron un estudio de los mercados que intervienen, un análisis de ingeniería y un análisis económico. Con esto, determinaron que la inserción de un nuevo producto sería un gran inconveniente, ya que dar a conocer un nuevo producto de forma simultánea no es tarea fácil, y presentaría gran incertidumbre en cuanto a su aceptación y elevado costo. Por otro lado, el proyecto actuaría como tomador de precios, suponiendo riesgos debido a que no todos los escenarios presentan rentabilidad sobre la inversión. Se determinó que, a pesar de ser un proyecto viable en lo que respecta a términos legales, técnicos, normativos, organizacionales y ambientales, la posibilidad de que el proyecto sea viable económicamente fue baja, con una alta sensibilidad del Valor Actual Neto (VAN) respecto al precio de venta del azúcar y considerando las fluctuaciones de la economía, por lo que se llega a la conclusión de no llevar a cabo el proyecto de inversión.

Como se mencionó anteriormente, la industria azucarera es una de las principales generadoras de empleos en el país, tanto directa como indirectamente, por lo que es una parte importante en el desarrollo del sector industrial alimentario y en el crecimiento económico de México.

La Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) es el organismo del poder ejecutivo federal responsable de la gestión y regulación de las relaciones laborales entre los trabajadores y los empleadores en México. Esta entidad despliega

funciones esenciales, como la formulación, implementación y coordinación de políticas públicas vinculadas a la creación de empleo, la conformación de sindicatos y agrupaciones de trabajadores, así como la protección de los derechos laborales y sociales derivados de los mencionados aspectos (Esparza, 2021).

Según (González Beristáin & Nash Campos, 2015), los trabajadores de la industria azucarera en México presentan serios problemas de salud y de riesgos de trabajo, por lo que presentan un perfil epidemiológico enfocado a un ingenio en particular. De acuerdo con el estudio realizado por (González Beristáin & Nash Campos, 2015), los trabajadores de la industria azucarera en México enfrentan graves problemas de salud y riesgos laborales, lo cual da forma a un perfil epidemiológico enfocado en un ingenio específico. El análisis reveló que la tasa de problemas de salud y riesgos laborales es de 12.7 por cada 100 trabajadores, cifra que supera el promedio nacional (2.3 por cada 100 trabajadores). Esta diferencia se atribuye al tipo de procesos laborales que se llevan a cabo en los ingenios azucareros.

Un hallazgo relevante del estudio fue que el 48.3% de los trabajadores del ingenio objeto de análisis había sufrido accidentes de trabajo en el último año, lo que resultó en una tasa de 37.5 por cada 100 trabajadores. Esta cifra indica que la tasa de accidentes de trabajo supera la media nacional. Los problemas de salud reportados por los trabajadores están directamente relacionados con las insuficientes medidas de seguridad e higiene dentro del ingenio. Estas problemáticas resultan de las actividades inherentes a la producción, donde los trabajadores se exponen diariamente a condiciones ambientales que representan un riesgo para su salud.

(Wesseling, Crowe, Peraza, Aragón, & Partanen, 2018) aseguran que los riesgos ocupacionales de la industria de la caña de azúcar aumentan durante el periodo de la zafra debido a la gran intensidad del trabajo y la llegada de muchos trabajadores temporales, en muchos casos migrantes en situaciones socioeconómicas vulnerables.

En el análisis realizado por (Ceballos Eraso & Reyes Melo, 2020), se examinan los principales accidentes laborales en el sector de la caña de azúcar. El estudio revela

que los accidentes más frecuentes en la industria azucarera están relacionados con las actividades de corte y procesamiento de la caña de azúcar. Asimismo, se identificaron las causas más comunes que se reportaron en los informes de accidentes de los trabajadores encargados del corte de caña.

Los resultados indican que los accidentes más recurrentes en el sector están vinculados a cortes en el rostro, cortes con el machete y mordidas de serpiente. Estos hallazgos resaltan la naturaleza peligrosa de las tareas involucradas en el manejo y procesamiento de la caña de azúcar. La investigación pone de manifiesto la importancia de implementar medidas de seguridad y capacitación adecuadas para prevenir y reducir los riesgos laborales en este sector, en particular en las actividades de corte y manipulación de la caña de azúcar.

A pesar de que los accidentes más comunes y estudiados de la industria azucarera se refieren a los relacionados con el corte y recolección de la caña de azúcar durante el periodo de la zafra, también existen otro tipo de afectaciones que pueden sufrir los trabajadores de los ingenios azucareros. Estas afectaciones o lesiones se producen por la presencia de riesgos ergonómicos al momento de realizar las actividades de recolección de la caña, ensacado del azúcar, levantamiento de bultos o cargas pesadas, entre otros.

Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo cada vez son más frecuentes; se trata de lesiones o enfermedades del sistema osteomuscular y del tejido conjuntivo por exposición a factores de riesgo ergonómico (Secretaría de Gobernación, 2018), y no son producto de accidentes únicos aislados, sino el resultado de traumatismos repetidos y de tamaño pequeño (ERGODEP, 2018).

(González Peña, 2019) realizó un diagnóstico en una empresa alimenticia con el objetivo de identificar los riesgos de los trabajadores expuestos a posturas inadecuadas, las cuales se relacionan con el uso inadecuado del equipo de protección personal (aunado a la ejecución de tareas en los diversos puestos de trabajo), como no usar guantes anticorte, faja postural ni tapete ergonómico para la fatiga en largas jornadas laborales. Se determinó que la carencia de ergonomía

puede provocar enfermedades ocupacionales y generar gastos innecesarios para la empresa y los trabajadores. Desde atención médica, hasta tratamientos inmediatos.

(Cáceres Chango & Cabello Montoya, 2010) realizaron un diagnóstico y evaluación de riesgos en las áreas de envase de azúcar, trapiches y caderas de un ingenio azucarero con el fin de identificar, analizar y evaluar todo tipo de riesgos existentes en esas áreas y a su vez reducir toda clase de accidentes. Realizaron una evaluación de riesgos físico-mecánicos para aplicar un plan preventivo que cuide la salud y seguridad del personal que labora en el ingenio y propusieron y ejecutaron medidas correctivas para los riesgos identificados, de manera que se puedan convertir los puestos de trabajo en lugares cómodos, seguros, saludables y productivos.

En el estudio realizado por (Blanco, 2007), se identifican los principales riesgos laborales asociados a la producción de azúcar, tanto en el área de campo como en el área industrial. En el área de campo, los riesgos más destacados incluyen la exposición a agroquímicos, la inhalación de polvo, las altas temperaturas, el uso de herramientas cortantes, las posturas forzadas y los movimientos repetitivos de brazos y tronco. Por otro lado, en el área industrial, los riesgos principales abarcan la exposición al polvo de bagazo, el ruido, las altas temperaturas, los golpes con objetos y herramientas, las posturas forzadas, el levantamiento de cargas y los movimientos repetitivos.

El ruido se identifica como un factor característico de los procesos industriales y de talleres, y los factores ergonómicos se encuentran presentes tanto en el campo como en la industria. Entre las enfermedades profesionales más comunes, se destaca la hipoacusia inducida por el ruido y las enfermedades músculo-esqueléticas. En consecuencia, el estudio sugiere que el riesgo ergonómico, en particular los factores que pueden llevar a lesiones en la columna, requieren una mayor intervención por parte de los empleadores para garantizar la seguridad y el bienestar de los trabajadores involucrados en la producción de azúcar.

A continuación, se presenta un resumen de los trabajos analizados anteriormente (Ver Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12).

Tabla 3 Primer trabajo relacionado con la investigación

Título	Autor(es)	Técnicas y herramientas	Aportación
La inteligencia artificial. Nuevo enfoque en la evaluación de las máquinas en el complejo cosecha-transporte-recepción de la caña de azúcar.	Matos Ramírez & Martínez López, 2014	Sistemas basados en el conocimiento. Sistema basado en casos. Algoritmos de aprendizaje. Redes Neuronales Artificiales.	Se muestran las posibilidades que pueden brindar las técnicas de Inteligencia Artificial para la solución de problemas reales relacionados con la toma de decisiones y la racionalización de los recursos de la economía, en un importante renglón del país. Es posible utilizar este método en la organización científica de las transportaciones de la caña de azúcar.

Elaboración propia.

Tabla 4 Segundo trabajo relacionado con la investigación

Título	Autor(es)	Técnicas y herramientas	Aportación
Ingenio Aguaí incorpora Inteligencia Artificial a la industria y manejará sus procesos desde la nube.	Dalmeida Decio, 2022	Robótica. Tecnologías cognitivas. Análisis de datos (big data)	El nuevo sistema optimiza toda la cadena de producción, el rendimiento en tiempo real y el uso para la automatización del proceso, asimismo, aumenta la eficiencia industrial, mejora la calidad y la generación de bioelectricidad.

Elaboración propia.

Tabla 5 Tercer trabajo relacionado con la investigación

Título	Autor(es)	Técnicas y herramientas	Aportación
Procedimiento para la evaluación de oportunidades de negocio en la industria azucarera.	Rabassa Olazábal, González Suárez, Pérez Sánchez, Miño Valdés, & Pérez Martínez, 2016	Evaluación de oportunidades de negocio. Diagrama heurístico. Herramientas de Gestión de Desarrollo.	Se establece una base metodológica mediante herramientas de Gestión de Desarrollo y Análisis Complejo de Procesos para evaluar oportunidades de negocios en la industria azucarera. Se diseña y se grafica un diagrama heurístico para ser aplicado como procedimiento de evaluación a las propuestas de negocios en la industria azucarera. Se evalúa la producción de D-xilosa y glucosa a partir de residuos de caña. Se establece un procedimiento metodológico guía para evaluar oportunidades de negocio en la industria azucarera.

Elaboración propia.

Tabla 6 Cuarto trabajo relacionado con la investigación

Título	Autor(es)	Técnicas y herramientas	Aportación
<p>Análisis EVA: Caso de empresa del sector azucarero del Valle del Cauca en Colombia.</p>	<p>Castro Marín & Quiñonez Preciado, 2016</p>	<p>Estudio de Valor Económico Agregado (EVA). Análisis FODA. Análisis de mercado. Análisis de Porter. Análisis de estados financieros. Análisis de sensibilidad.</p>	<p>Se presenta un aporte en la valoración de la compañía, permitiendo medir el desempeño financiero y organizacional. Se determina que el Estudio de Valor Económico Agregado, Costo Promedio Ponderado del Capital y Modelo de Valoración de Activos Financieros influyen en el valor de la empresa, buscando mejorar y sostener su valor en los diferentes periodos. El ingenio azucarero presenta una perspectiva que permitirá aprovechar y lograr flujos de caja futuros que garanticen la viabilidad financiera, un aumento del valor de la empresa y eficiencia en la logística de sus actividades, para ofrecer unos servicios apropiados de manera eficaz. Se determina que las principales variables que generan valor para el ingenio son los costos operacionales, gastos administrativos e ingresos operaciones, debido al desarrollo de sus actividades.</p>

Elaboración propia.

Tabla 7 Quinto trabajo relacionado con la investigación

Título	Autor(es)	Técnicas y herramientas	Aportación
Industria azucarera. Estudio de prefactibilidad.	López Zamora, 2020	Estudio de mercado. Ingeniería de proyecto. Análisis de tamaño. Análisis de localización. Estudio organizacional. Estudio jurídico-legal. Estudio ambiental. Evaluación económica. Análisis de riesgo.	Los resultados obtenidos con el estudio económico efectuado, considerando un horizonte de tiempo de 10 años, da como resultados un VAN de -\$78,447.50 y una TIR del 17%, igual a la tasa de descuento obtenida del 17%. Los resultados del estudio de sensibilidad indican un nivel de riesgo, con una probabilidad del 51.29% de que el VAN sea mayor que 0 al considerar variaciones reales de la cantidad de producción demandada y del precio de venta. Se determina que a pesar de ser un proyecto viable en lo que respecta a términos legales, técnicos, normativos, organizacionales y ambientales, la posibilidad de que el proyecto sea viable económicamente es baja, por lo que se aconseja la no realización de este bajo el escenario planteado.

Elaboración propia.

Tabla 8 Sexto trabajo relacionado con la investigación

Título	Autor(es)	Técnicas y herramientas	Aportación
<p>Perfil epidemiología de los trabajadores de un ingenio azucarero.</p>	<p>González Beristaín & Nash Campos, 2015.</p>	<p>Estudio descriptivo, observacional y transversal. Cuestionario.</p>	<p>Se identificó que los problemas de salud que presentaron los trabajadores están relacionados con las deficientes medidas de seguridad e higiene del ingenio, resultante de las actividades propias de la producción, donde diariamente el trabajador se expone a condiciones ambientales que constituyen un riesgo para la salud.</p> <p>Se define que los resultados obtenidos serán el insumo para el diseño de un programa de intervención educativa que se implementará en coordinación con las autoridades y encargados del puesto de salud.</p> <p>Se muestra que los instrumentos metodológicos empleados durante el periodo analizado han logrado determinar que la mayoría de los trabajadores (65%), presentan problemas de salud, donde se encontró que 50 de estos, representados con el 41.7% de los 120 padecen Diabetes Mellitus. Asimismo, el 26% de estos tienen sobrepeso y en menor proporción obesidad. De igual forma, 45 trabajadores que representan el 37% ha sufrido algún accidente de trabajo en el año de estudio.</p>

Elaboración propia.

Tabla 9 Séptimo trabajo relacionado con la investigación

Título	Autor(es)	Técnicas y herramientas	Aportación
Análisis de accidentalidad laboral del sector agrícola azucarero del Valle de Cauca en los años 2017-2018.	Ceballos Eraso & Reyes Melo, 2020.	Teorías sobre la causalidad de accidentes. Análisis financiero.	Se identificó que la accidentalidad en el sector agrícola azucarero en el año 2017 tuvo un comportamiento creciente y que no se tomaron medidas para contra restar la disminución de accidentes. Se identificaron las causas que más se reportaron en los informes de accidentalidad de los cortadores de cañas: corte en rostro, corte con el machete y mordida de serpiente. Se plantean estrategias y recomendaciones para disminuir la accidentalidad en los ingenios.

Elaboración propia.

Tabla 10 Octavo trabajo relacionado con la investigación

Título	Autor(es)	Técnicas y herramientas	Aportación
Riesgo ergonómico por posturas inadecuadas.	González Peña, 2019.	Estudio y diagnóstico de una empresa. Ficha de análisis ergonómico. Método y escala BRIEF. Recabado de base de datos y evidencia fotográfica.	Se determinó que la carencia de ergonomía pueden provocar enfermedades ocupacionales y generar gastos innecesarios para la empresa y los trabajadores. Desde atención médica, hasta tratamientos inmediatos.

Elaboración propia.

Tabla 11 Noveno trabajo relacionado con la investigación

Título	Autor(es)	Técnicas y herramientas	Aportación
Diagnóstico y evaluación de riesgos en las áreas de envase de azúcar, trapiches y calderas del ingenio azucarero San Carlos.	Cáceres Chango & Cabello Montoya, 2010.	Evaluación de riesgos. Evaluación cualitativa.	Se identificaron riesgos físicos, químicos y mecánicos, que mediante la evaluación correspondiente, han logrado mejorar el ambiente laboral para los trabajadores con la implementación de medidas preventivas. Mediante la evaluación de riesgos se recomienda a la organización implementar las medidas preventivas que se presentan en el informe final. Se recomienda que la organización realice una campaña de concientización para todos los trabajadores, motivando el uso de equipos de seguridad para el cuidado de su salud.

Elaboración propia.

Tabla 12 Decimo trabajo relacionado con la investigación

Título	Autor(es)	Técnicas y herramientas	Aportación
Plan de intervención sobre factores de riesgos laborales en la empresa Monte Rosa S.A.	Blanco, 2007.	Diagnóstico. Priorización de riesgos laborales. Plan de intervención de riesgo laboral. Sistema de gestión. Análisis costo-beneficio.	Se identificaron los principales riesgos laborales en el campo e industria de la producción de azúcar. Se determino que las enfermedades profesionales más frecuentes son: hipoacusia inducida por el ruido y enfermedades músculo esqueléticas, por lo que el riesgo que necesita mayor intervención es el ergonómico, específicamente los factores que causan lesión en la columna.

Elaboración propia

2.7 Conclusión.

Con el marco teórico debidamente establecido, estamos en posición de definir los indicadores de evaluación económica que serán empleados para valorar la viabilidad financiera del proyecto CEDIS Veracruz. Al contar con un entendimiento integral del proceso de producción, estamos habilitados para dar inicio a nuestras simulaciones, abarcando tanto eventos discretos como la técnica de simulación de Monte Carlo. Estas simulaciones nos proveerán de análisis iniciales que podrán ser sometidos posteriormente a un riguroso examen mediante el uso de algoritmos genéticos en la plataforma RiskOptimizer.

Cabe resaltar que el desarrollo de un extenso estado del arte ha resultado sumamente valioso para nuestra investigación. Este ejercicio ha ampliado nuestra perspectiva al abordar los mismos temas desde diversas perspectivas, proporcionándonos una sólida base para dar comienzo a la implementación de nuestra aplicación de manera informada y eficaz.

Capítulo 3. Aplicación

3.1 Introducción.

En este apartado, expondré la metodología que se empleó en el trabajo de investigación, junto con su correspondiente desarrollo. Esta presentación resulta esencial para una comprensión más completa de las técnicas utilizadas y cómo se llevó a cabo el análisis del sistema en estudio. Tal aproximación resulta fundamental para sentar bases sólidas de cara al siguiente capítulo, en el cual se detallarán los resultados obtenidos.

3.2 Metodología

La metodología propuesta en este estudio de investigación involucra un análisis de rentabilidad y costo/beneficio del proyecto "CEDIS Veracruz", comparando los costos actuales con la ayuda de la simulación de Monte Carlo. Además, tiene como objetivo establecer el esquema de operación, calcular los costos de operación, determinar los requisitos de personal y equipo mediante una simulación de eventos discretos. La Figura 6 muestra el diagrama que representa la metodología propuesta.

problemática que se tiene. Se recaba la información necesaria sobre la problemática que se desea solucionar y se proponen alternativas de solución.

B. Análisis del estado actual.

Se lleva a cabo un minucioso análisis del proceso de producción de caña de azúcar y del proceso de ensacado previo, los cuales se planea implementar en el CEDIS Veracruz. El propósito principal es recopilar los datos necesarios para efectuar una detallada comparación y, de esta manera, identificar áreas de oportunidad estratégicas para el proyecto en cuestión.

C. Definición del objetivo y alcance.

En conjunto con los directivos de la empresa, y de los que están encargados de llevar el proyecto de CEDIS Veracruz se pretende conocer las expectativas y requerimientos del proyecto, y posteriormente se establecen los objetivos, el alcance y los límites de este proyecto.

D. Recolección de información.

Se recolecta información relacionada con el proceso actual de ensacado de azúcar, así como la tecnología utilizada, y información de la nueva manera de trabajar en el proyecto de CEDIS Veracruz.

También se recauda información de la nueva tecnología referente a costos, que nos ayudarán a la simulación Monte Carlo.

E. Desarrollo de simulación de eventos discretos.

El uso de simulación de eventos discretos se propone un modelo que permita visualmente el comportamiento del estado actual y futuro del proceso de ensacado de azúcar, así como la logística manejada en el CEDIS y visualizar el almacenamiento, como el transporte al mismo.

F. Análisis económico de simulación Montecarlo.

Se propone un análisis de factibilidad económica para así evaluar el costo/beneficio, la rentabilidad, los costos de operación, determinar el personal y requerimiento de equipo, que nos ayudara a hacer una comparación de los costos actuales en los ingenios contra los costos del proyecto CEDIS Veracruz.

G. Técnica de inteligencia artificial.

Se propone una técnica de análisis de decisiones apoyada en la inteligencia artificial, los algoritmos genéticos, nos ayudara a analizar mediante modelos matemáticos el escenario más optimo y así tener una mejor toma de decisiones, todo esto trabajado mediante RISKOptimizer.

3.3 Desarrollo

3.3.1 Reunión con los responsables de la empresa

La reunión se llevó a cabo con el responsable de la empresa en la que se dieron a conocer los aspectos más relevantes del proyecto que están realizando, CEDIS Veracruz, así como el proceso de planeación que están llevando para poder entender el objetivo que se busca en este trabajo de investigación. Se tocaron temas como la forma en la que se está trabajando actualmente, el por qué se está haciendo esta inversión, los problemas que se presentan día a día, el cómo se está organizando el proyecto, el asunto de los cambios y los escenarios que ellos esperan, entre otras cosas, todo con la finalidad de lograr una familiarización con el tema y el entorno del proyecto.

Una vez identificada la problemática, y la manera en la que se quiere desarrollar, se proponen soluciones y se realizó una investigación bibliográfica de problemáticas similares, con el objetivo de establecer una base sobre el proceso que se tiene que realizar, y que posteriormente ayudaría a establecer los objetivos, a definir el alcance del proyecto y sus límites.

3.3.2 Análisis del estado actual

Utilizando una base de datos proporcionada por el encargado de la empresa, se estableció una sólida base para la construcción de los modelos de simulación, incluyendo tanto el enfoque de eventos discretos como la simulación de Monte Carlo. Posteriormente, se generó un informe exhaustivo que detalla los datos más relevantes y de mayor impacto. Este informe se orienta hacia una evaluación económica y de rentabilidad, centrada en comparar los costos previos y posteriores a la implementación del CEDIS Veracruz. El objetivo principal de este ejercicio es arrojar luz sobre la situación actual de la empresa y destacar las áreas de oportunidad cruciales para el desarrollo exitoso del proyecto.

3.3.3 Definición de objetivos y alcance

Después de hacer el análisis de las áreas de oportunidad y de identificar el estado actual de la base de datos facilitada por el responsable del proyecto, se planteó con él, el objetivo del proyecto, las expectativas que se tienen del desarrollo de este trabajo de investigación y los requerimientos del proyecto. En base a esto se establecieron los objetivos, el alcance y los límites del proyecto (Véase en Capítulo 1).

3.3.4 Desarrollo de simulación de eventos discretos

Para desarrollar la simulación de eventos discretos de lo que se espera que sea el CEDIS, se siguieron los diez pasos de la metodología de la simulación, los cuales se describen a continuación.

3.3.4.1 Formulación del problema

La formulación del problema se presenta en el estado actual: Donde dos ingenios azucareros localizados en diferentes puntos del estado de Veracruz requieren mandar su producción a un CEDIS, para que ahí se haga la transformación de los super sacos con un peso de 1.5 toneladas de azúcar, a sacos de 25 kg.

Se hace necesario adquirir un entendimiento preciso de varios aspectos: la capacidad de entrada de super sacos al Centro de Distribución, el volumen proyectado de almacenamiento de dichos super sacos, la cantidad actual de sacos de 25 kg que se encuentran resguardados en el almacén, así como el flujo de salida de sacos de 25 kg desde el CEDIS.

Debido a que este proyecto de investigación busca estudiar lo económico y la rentabilidad del mismo, se busca tener un estimado de la tarifa de fletes que se tendría que pagar.

3.3.4.2 Recolección de datos y definición del modelo

En colaboración con los expertos del proyecto, se recopiló información esencial para determinar el promedio diario de super sacos de azúcar que llegan al ingenio. Además, se obtuvo una estimación precisa de los tiempos requeridos para cada fase del proceso de ensacado, lo que resulta esencial para la posterior simulación del modelo.

Tras un análisis detenido, se llegó a la conclusión de que el enfoque más adecuado para este caso era la modelación discreta. Este enfoque se eligió debido a que las variables relevantes experimentan cambios en momentos específicos y discretos en el tiempo, permitiendo así una contabilización precisa de estos cambios en puntos específicos.

3.3.4.3 ¿Es válido?

La primera validación del modelo se consultó con el encargado del proyecto para ver si los datos y la distribución se apegaba a la realidad del CEDIS Veracruz con la finalidad de obtener los resultados óptimos dentro de la simulación.

3.3.4.4 Construcción del programa

La simulación se realizó en el programa Simio en su versión estudiante, debido a que el software permite observar el proceso de forma más gráfica y es simple de

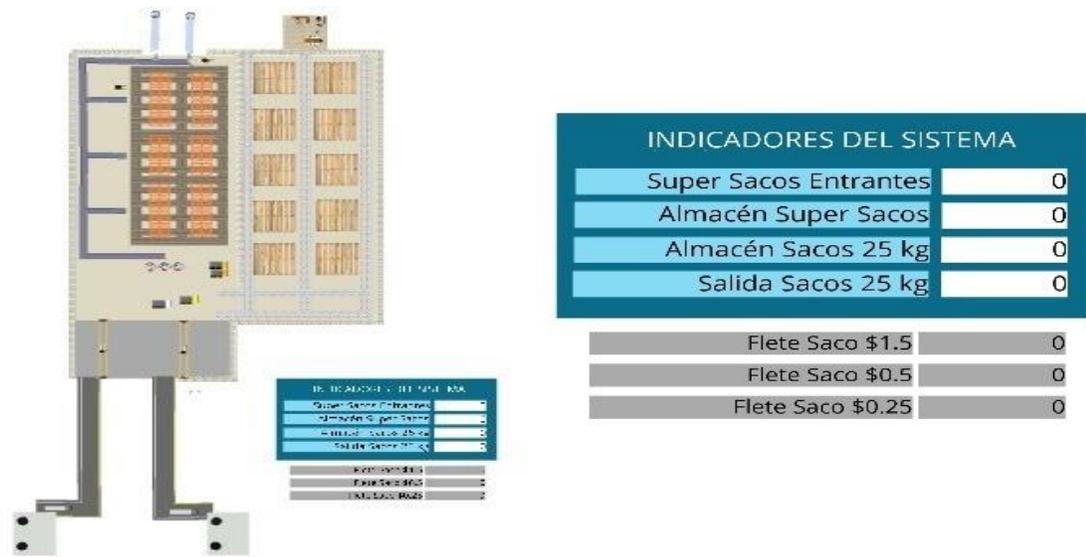
entender, y debido a que el proyecto se está desarrollando, ayudará a los inversionistas a que tengan una idea visual en que será invertido su dinero.

Como primer paso se utilizaron servers para representar los dos ingenios que alimentarán al CEDIS, al llegar pasan por unas grúas para ser trasladadas al área donde se encontrarán los super sacos estas son representadas con unos servers, en esa área también se encuentra tres separator que representan las ensacadoras que pasarán los super sacos a sacos de 25 kg que se almacenan que otra área que también son representadas con servers. Todas las uniones se hicieron con paths y timepaths que contienen información relacionada con el tiempo que pasa los sacos o super sacos.

Se colocaron etiquetas que nos muestran la cantidad de super sacos que entran, los super sacos almacenados, sacos de 25 kg almacenados y la salida de 25 kg, que se van generando a lo largo del proceso, como esta parte del estudio de la simulación de eventos discretos en SIMIO está destinada a un análisis económico, se decidió agregar etiquetas que hablan sobre la tarifa de los fletes que se tendría aproximadamente, para tener una comparativa de la tarifa que nos dieron en la empresa con la tarifa que se simulara, siendo un apoyo para ver que la simulación se apega a la realidad del sistema. La primera etiqueta es por si cada saco de 25 kg, cobrarán \$1.5, la segunda es por \$0.5 por cada saco de 25 kg, y la tercera es por \$0.25 por cada saco de 25 kg (véase en Figura 8), recordemos que estos resultados después se compararán con un dato dado por el encargado del proyecto para ver si la simulación nos está arrojando un escenario realista.

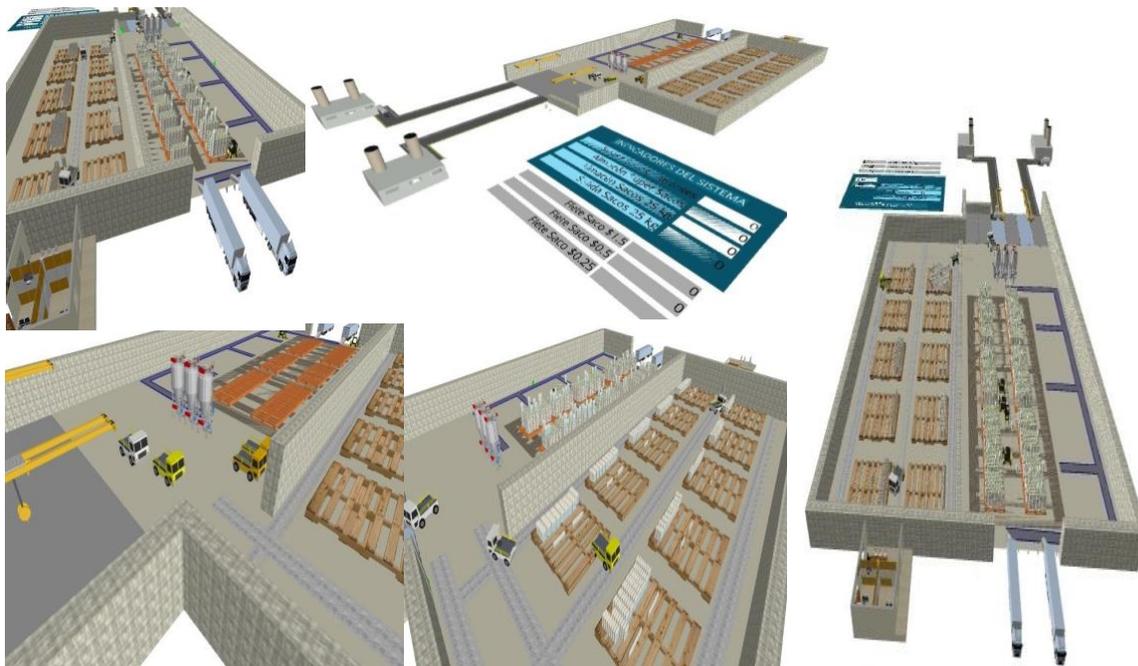
Una vez que se programó todo el modelo con las distribuciones de probabilidad, se procedió a realizar la animación del modelo (véase Figura 9).

Figura 8 Modelo de simulación del CEDIS



Obtenido del software Simio. Elaboración propia.

Figura 9 Modelo de simulación del CEDIS



Obtenido del software Simio. Elaboración propia.

3.3.4.5 Pruebas piloto

Se estableció la duración de 24 horas para ejecutar el modelo de simulación en SIMIO. Se procedió a comprobar la congruencia de los resultados en cuanto a la cantidad de sacos de 25 kilogramos obtenidos, comparándolos con los obtenidos en pruebas anteriores. Este proceso se aseguró que la simulación estuviera reflejando de manera precisa el modelo real.

3.3.4.6 ¿Es válido?

Con el fin de validar el modelo, se aplicó el enfoque de la prueba t-apareada. Se selecciono una métrica de rendimiento: los costos de fletes diarios. Para recopilar información sobre ambas medidas, se llevaron a cabo 10 pruebas preliminares utilizando el modelo de simulación. Para generar resultados aleatorios, se modificó el número de réplicas en la pestaña de *run setup* en cada iteración del modelo.

Se emplearon los datos obtenidos de las cantidades que se pagan en la operación actual para representar X_j , que corresponden a las observaciones de un sistema real. Por otro lado, se utilizaron los datos generados por el modelo de simulación para representar Y_j .

Prueba t-pareada para los costos de fletes en un día.

A continuación, se muestran los cálculos para la prueba t-apareada para la medida de desempeño. Posteriormente, se muestra el cálculo de intervalo de confianza para determinar si el modelo es válido (véase Tabla 13).

Como el costo de flete se tiene dado por año, se procedió a hacer una división para calcular un aproximado de costo de flete por un día.

$$\text{Costos de flete por un día} = \frac{\$4,000,000}{365 \text{ días}} = \$10,958.90 \quad \text{Ecuación 11}$$

Tabla 13 Medida de desempeño – Costos de fletes en un día

Prueba piloto	X _j	Y _j	Z _j = X _j - Y _j	(Z _j - \bar{Z}_{10}) ²
1	10,958.90	10,945.50	13.40	396.01
2	10,958.90	10,998.50	-39.60	1,568.16
3	10,958.90	10,985	-26.10	681.21
4	10,958.90	10,928.50	30.40	924.16
5	10,958.90	10,941	17.90	320.41
6	10,958.90	10,915.50	43.40	1,883.56
7	10,958.90	10,977	-18.10	327.61
8	10,958.90	10,994.50	-35.60	1,267.36
9	10,958.90	10,999	-40.10	1,608.01
10	10,958.90	10,969.50	-10.60	112.36
Suma				9,088.85
Promedio	10,958.90	10,965.40	-6.50	
Varianza Z₁₀	925,614.85			

Elaboración propia.

Se construyó un intervalo de confianza al 95% para Z, en donde Z_j=X_j-Y_j.

$$\bar{Z}_{10} = \frac{\sum_{i=1}^{10} Z_j}{n} = -6.50 \quad \text{Ecuación 12}$$

$$\hat{var}[\bar{Z}_{10}] = \frac{\sum_{i=1}^{10} [Z_j - \bar{Z}_{10}]^2}{n(n-1)} = \frac{9,088.85}{(10)(9)} = 100.99 \quad \text{Ecuación 13}$$

$$\begin{aligned} \bar{Z}_{10} \pm t_{n-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\hat{var}(\bar{Z}_n)} &= -6.50 \pm t_{9, 0.025} \sqrt{100.99} \\ &= -6.50 \pm 2.2622 \sqrt{100.99} = -6.50 \pm 10.05 \end{aligned} \quad \text{Ecuación 14}$$

El intervalo de confianza obtenido, que va desde -16.55 hasta 3.55, abarca el valor cero. Esta inclusión del valor cero en el intervalo sugiere que el modelo es válido, ya que no se observa una diferencia estadísticamente significativa entre los datos observados y los generados por la simulación.

3.3.4.7 Diseño de experimentos

A través del análisis de las pruebas piloto, se determinó el número de ejecuciones óptimas para el modelo. Esto se realizó considerando un nivel de confianza (1- α) del 95% y utilizando la información recopilada durante las pruebas preliminares, y dando un margen de error (E) de ± 15 pesos (ver tabla 14).

Tabla 14 Número óptimo de corridas del modelo

Prueba piloto	Costo de flete por día
1	10,945.50
2	10,998.50
3	10,985
4	10,928.50
5	10,941
6	10,915.50
7	10,977
8	10,994.50
9	10,999
10	10,969.50

Elaboración propia.

Datos:

$$X_n = 10,965.40$$

$$\sigma_n = 29.07$$

$$E = 15$$

Sustituyendo en la siguiente formula del tamaño de la muestra para determinar el número óptimo de corridas:

$$n = \frac{(Z_{0.95})(\sigma_n)^2}{E} = \frac{(1.96)(29.07)^2}{15} = 14.42 \cong 15$$

Ecuación 15

Por ende, se determinó que el número óptimo de réplicas para el modelo era de 15 corridas. Se procedió a configurar un experimento en el software SIMIO, seleccionando la opción de *New Experiment* en la pestaña de *Project Home*. Luego, se ajustaron los parámetros en la ventana de navegación y se ejecutaron las 15 corridas requeridas.

3.3.4.8 Correr el modelo

Se llevó a cabo la ejecución del modelo y se realizó una verificación exhaustiva para garantizar la ausencia de errores. Se examinó minuciosamente la información obtenida de cada una de las etiquetas de los servidores para asegurar su congruencia y similitud con las expectativas del experto. Los pasos nueve y diez del proceso de simulación, el análisis de resultados y la documentación e implementación de los resultados, se detallan en el capítulo 4, proporcionando una descripción completa de dichos pasos.

3.3.5 Análisis económico de simulación Monte Carlo

La simulación Monte Carlo es una técnica matemática ampliamente empleada para estimar los resultados probables de un evento incierto. Este método, ideado por John Von Neumann y Stanislaw Ulam durante la Segunda Guerra Mundial, se concibió para mejorar la toma de decisiones en situaciones de incertidumbre. El término "Monte Carlo" proviene de un famoso casino en Mónaco, ya que el elemento de azar es el fundamento central de este enfoque de modelado, similar a los juegos de ruleta.

A diferencia de un modelo de predicción convencional, la simulación de Monte Carlo genera una serie de resultados basados en un rango estimado de valores en contraposición a un conjunto de valores de entrada fijos. En otras palabras, esta técnica construye un modelo de potenciales resultados al utilizar distribuciones de probabilidad, como las distribuciones uniformes o normales, para variables que poseen una incertidumbre inherente. Posteriormente, recalcula los resultados de

manera reiterada, empleando en cada ocasión un conjunto diferente de números aleatorios dentro del rango definido por los valores mínimo y máximo. En un experimento de Monte Carlo convencional, esta iteración puede repetirse miles de veces, generando un extenso conjunto de posibles resultados.

Las simulaciones de Monte Carlo también se utilizan para predicciones a largo plazo debido a su precisión. A medida que aumenta el número de entradas, el número de predicciones también crece, lo que le permite proyectar los resultados más lejos en el tiempo con una mayor precisión. Cuando se completa una simulación de Monte Carlo, proporciona una serie de posibles resultados con la probabilidad de que se produzca cada resultado. (IBM,2020)

3.3.5.1 Estudio de factibilidad económica

El estudio de factibilidad económica empieza desarrollando el horizonte de planeación del proyecto, el cual se pretende tenga una longitud de 10 años, después se tiene una descripción de costos de inversión (véase Tabla 15).

Tabla 15 Descripción de costos de inversión

Proveedor	Descripción	Importe
GP	Terreno y permisos	\$31,500,000
OLSA	Construcción de 2 naves industriales de 7500 m ² c/u (50m x 150m) y 3000 m ² para área de ensacadoras automáticas de 25 kg, iluminación y ventilación, vialidades y patios	\$209,934,800
OLSA	Maquinaria para alimentación de súper saco de 1.5 t, grúas y crossdocking	\$30,950,000
Premier Tech / OLSA	3 máquinas ensacadoras automáticas de 25 kg y exclusiva	\$33,964,662
OLSA	Eléctrico, acometida, iluminación exterior y subestación de inicio de obra	\$19,000,000
OLSA	Basculas	\$4,801,250
T.C.I. / Escargo / Clark	Bandas transportadoras fijas, móviles a estiba y remontadores telescópicos a carga, y planas cortas para 8 súper sacos	\$15,976,998
Escargo/Clark	Renta de equipo móvil (manipuladores telescópicos, carritos tractores, montacargas)	--
OLSA	Oficinas administrativas y mobiliario de oficina, redes TI, comunicación	\$12,250,000
OLSA	Planta de tratamiento de aguas residuales PTAR y vehículo de obra	\$4,970,500
OLSA	Red de agua contra incendios y tanque elevado de agua	\$5,000,000
	Imprevistos	\$1,651,790
	Total de inversión	\$370,000,000

Elaboración propia.

Al ya saber las cantidades y las descripciones de inversión del proyecto, otro factor importante a tomar en cuenta, son las cantidades de reducción, incremento, tarifa y operación del CEDIS, así como la tasa de interés (Véase Tabla 16).

Tabla 16 Beneficios y costos del proyecto en escenario esperado

Beneficios y costos	Importe
(+) Reducción de costos en Ingenio San Pedro	\$34,913,232
(+) Reducción de costos en Ingenio El Modelo	\$54,995,909
(+) Incremento de precio de venta \$2.5/saco 25 kg	\$21,332,400
(+) Red tarifa flete \$0.5/saco 25 kg	\$2,139,820
(-) Operación CEDIS (Mano de Obra + Gastos)	\$30,061,158
Tasa de interés	10.50%

Elaboración propia.

A partir de tener estos datos ya se puede hacer una evaluación del proyecto, al sumar todos los beneficios marcados con el símbolo (+), podremos encontrar los ahorros que se tienen en ambos ingenios, San Pedro y El Modelo, dando la cantidad de \$113,381,361, a esta cantidad le restamos los costos marcados con el símbolo (-), y podremos encontrar el beneficio neto, dando \$83,320,203, esta cantidad analizando en un estado de resultados se le llama EBITDA, ya que nos está dando un beneficio antes de interés, impuestos, depreciaciones y amortizaciones, al tener una EBITDA positiva de antemano nos está indicando que tenemos un proyecto bastante rentable, pero esta siempre debe de ir acompañada con otros parámetros, los parámetros que se utilizaran para este estudio de factibilidad económica son los siguientes:

- TIR
- VPN
- Periodo de recuperación
- Costo/Beneficio

Con los que podríamos comprobar el proyecto es rentable, mediante un estudio de factibilidad económica en su escenario esperado. (Véase Tabla 17).

Tabla 17 Estudio de factibilidad económica escenario esperado.

Año	Ingresos	Egresos	Inversión	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0			-370,000,000	-370,000,000	
1	113,381,361	30,061,158		83,320,203	83,320,203
2	113,381,361	30,061,158		83,320,203	166,640,406
3	113,381,361	30,061,158		83,320,203	249,960,609
4	113,381,361	30,061,158		83,320,203	333,280,812
5	113,381,361	30,061,158		83,320,203	416,601,015
6	113,381,361	30,061,158		83,320,203	499,921,218
7	113,381,361	30,061,158		83,320,203	583,241,421
8	113,381,361	30,061,158		83,320,203	666,561,624
9	113,381,361	30,061,158		83,320,203	749,881,827
10	113,381,361	30,061,158		83,320,203	833,202,030

Elaboración propia.

Después de tener el desarrollo de nuestro estudio de factibilidad económica, y apoyados en Excel, empezamos a calcular los parámetros que nos ayudaran a ver como se encuentra este proyecto, por lo que comenzamos calculando la TIR, mediante la siguiente formula “=TIR(valores)”, en el espacio de valores seleccionaremos todos los flujos de caja que se tienen desde el año 0 al 10, en el cual obtuvimos una TIR de 18.34%.

Para calcular el VPN, se usa la formula “=VNA(tasa, valores) + inversión”, por lo que en la tasa pondremos la dada en la Tabla 14, de ahí seleccionaremos los flujos de caja del año 1 al 10, y al final sumaremos el año 0, que es la inversión, recordando que la inversión se representa con un signo negativo antes de la cantidad, dándonos un VPN de \$131,152,086.

En el cálculo del periodo de recuperación, como tal no existe una fórmula para su cálculo dentro de las opciones de Excel, pero existe un método a seguir, es el siguiente, primero debemos ubicar en el flujo de caja acumulado, el año y la cantidad que se acerque más a la inversión, sin superarla, en este caso es en el año 4, y el flujo acumulado es de \$333,280,812, ya que en el año 5 se supera la inversión, por lo que el periodo de recuperación esta entre el año 4 y 5. Por lo que se procede hacer la siguiente operación:

$$PR = \frac{AFAMCI + (Inversión - FAMCI)}{FCSA} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

PR = Periodo de recuperación.

AFAMCI = Año del flujo acumulado más cercano a la inversión.

FAMCI = Flujo acumulado más cercano a la inversión.

FCSA = Flujo de caja del siguiente año

,dándonos un periodo de recuperación de 4.44 años.

Para poder obtener el costo/beneficio del proyecto, nos apoyamos de la formula del VNA, por lo que se usaría la siguiente formula “=VNA (tasa, valores) / - inversión”, nuevamente volvemos a tomar la tasa ya da, en valores serán los flujos de caja del año 1 al 10, y al final dividiremos por el año 0, que es la inversión, recordando que ahora se pone un signo negativo porque necesitamos que la cantidad salga positiva, por lo que nos arroja que tenemos un costo/beneficio de 1.3545.

Estos son los resultados al analizar el sistema sin ninguna variable de distribución, debido a que se buscaba entender primero el sistema, por lo que se le llamara escenario normal, ahora pasaremos a analizar el escenario optimista, donde se manejaran distribuciones triangulares (DT), que se utilizan para una estimación

aproximada de tres puntos y para modelar la opinión de expertos. A menudo se utiliza en la gestión de proyectos y análisis de costos.

Planteando el escenario optimista de manera descriptiva, se plantea que la reducción de los costos aumenta en ambos ingenios, Ingenio San Pedro y Ingenio El Modelo, logrando llegar a más de lo proyectado en el escenario esperado, y como anteriormente se mencionó, se manejan distribuciones triangulares, por lo que se describe de la siguiente manera DT(-2.5% de lo proyectado, lo proyectado, +25% de lo proyectado).

Al mismo tiempo el incremento que se habría logrado sobre el precio de venta aumenta en un 15%, por lo que se maneja una DT(-1.5% de lo proyectado, lo proyectado, +15% de lo proyectado) y siendo beneficiados por la red de tarifa de fletes que se había conseguido de \$0.5/saco 25 kg disminuye en un 50% esta cantidad, haciendo que este beneficio tenga un aumento del 50%, viéndose de la siguiente manera en una DT(-1% de lo proyectado, lo proyectado, +50% de lo proyectado).

La operación del CEDIS y los gastos generales del mismo, se logran disminuir en un 25% de lo proyectado, por lo que se maneja una DT (-5% de lo proyectado, lo proyectado, +25% de lo proyectado). En cuanto al interés, en México los intereses manejados para análisis van del 10% al 11%, por lo que se manejarán con DT(10%,10.5%,11%).

En la Tabla 18, se puede observar todos los datos que se usaran para poder estudiar el comportamiento en un escenario optimista.

Tabla 18 Beneficios y costos del proyecto en escenario optimista

Variable	Mínimo	Proyectado	Máximo
(+) Reducción de costos en Ingenio San Pedro	\$34,040,401	\$34,913,232	\$43,641,540
(+) Reducción de costos en Ingenio El Modelo	\$53,621,011	\$54,995,909	\$68,744,886
(+) Incremento de precio de venta \$2.5/saco 25 kg	\$21,012,414	\$21,332,400	\$24,532,260
(+) Red tarifa flete \$0.5/saco 25 kg	\$2,118,422	\$2,139,820	\$3,209,730
(-) Operación CEDIS (Mano de Obra + Gastos)	\$22,545,869	\$30,061,158	\$31,564,216
Tasa de interés	10%	10.50%	11%

Elaboración propia.

Planteando el escenario pesimista, se puede decir que la reducción de los costos de ambos ingenios, no se logró llegar a lo proyectado, teniendo que reducir en un 15% lo proyectado, por lo que la DT(-15% de lo proyectado, lo proyectado,+2.5% de lo proyectado).

El incremento que se había proyectado sobre el precio de venta de \$2.5/saco 25 kg, disminuyen en un 15%, por lo que la DT(-15% de lo proyectado, lo proyectado, +1.5% de lo proyectado), al mismo tiempo la red de tarifa del flete que se tenía de \$0.5/saco 25 kg, aumenta en un 50%, por lo que el beneficio disminuye, y la DT(-50% de lo proyectado, lo proyectado,+1% de lo proyectado).

La operación del CEDIS y los gastos en general, exceden la cantidad proyectada, aumentándolos en un 25% más, por lo que la DT(-5% de lo proyectado, lo proyectado, +25% de lo proyectado), los intereses se manejaran igual que el escenario optimista. En la Tabla 19, se puede observar todos los datos que se usaran para poder estudiar el comportamiento en un escenario pesimista.

Tabla 19 Beneficios y costos del proyecto en escenario pesimista

Variable	Mínimo	Proyectado	Máximo
(+) Reducción de costos en Ingenio San Pedro	\$29,676,247	\$34,913,232	\$35,786,063
(+) Reducción de costos en Ingenio El Modelo	\$46,746,523	\$54,995,909	\$56,370,807
(+) Incremento de precio de venta \$2.5/saco 25 kg	\$18,132,540	\$21,332,400	\$21,652,386
(+) Red tarifa flete \$0.5/saco 25 kg	\$1,069,910	\$2,139,820	\$2,161,218
(-) Operación CEDIS (Mano de Obra + Gastos)	\$28,558,100	\$30,061,158	\$37,576,648
Tasa de interés	10%	10.50%	11%

Elaboración propia.

Teniendo estos datos, ya podemos empezar a tener una simulación Monte Carlo, mediante @RISK, ya que ahora manejamos variables con distribuciones, en las que el software podría hacer varias iteraciones en cada una de sus simulaciones, dando los resultados promedios de estas simulaciones que van desde 1 a 100.

Por lo tanto, es esencial establecer el número óptimo de corridas en el modelo de simulación, y esto se logra mediante el cálculo de la siguiente ecuación:

$$n * (\beta) = \min \left\{ i \geq n : t_{i-1, 1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{S^2(n)}{i}} \leq \beta \right\} \quad \text{Ecuación 17}$$

Para realizar esta estimación, se llevaron a cabo 10 ejecuciones piloto independientes del programa de simulación Monte Carlo, cada una consistiendo en 5000 iteraciones como se muestra en la Tabla 20. Durante este proceso, se obtuvieron 4 indicadores de salida. Para determinar el número adecuado de iteraciones de simulación, se aplicó el siguiente análisis a cada uno de estos indicadores.

Tabla 20 *Corridas Piloto de Simulación Monte Carlo*

Replicación	TIR (%)
1	21.6828
2	21.6830
3	21.6829
4	21.6830
5	21.6829
6	21.6825
7	21.6827
8	21.6829
9	21.6829
10	21.6831

Elaboración propia.

Datos:

$$S^2n = 0.00000029$$

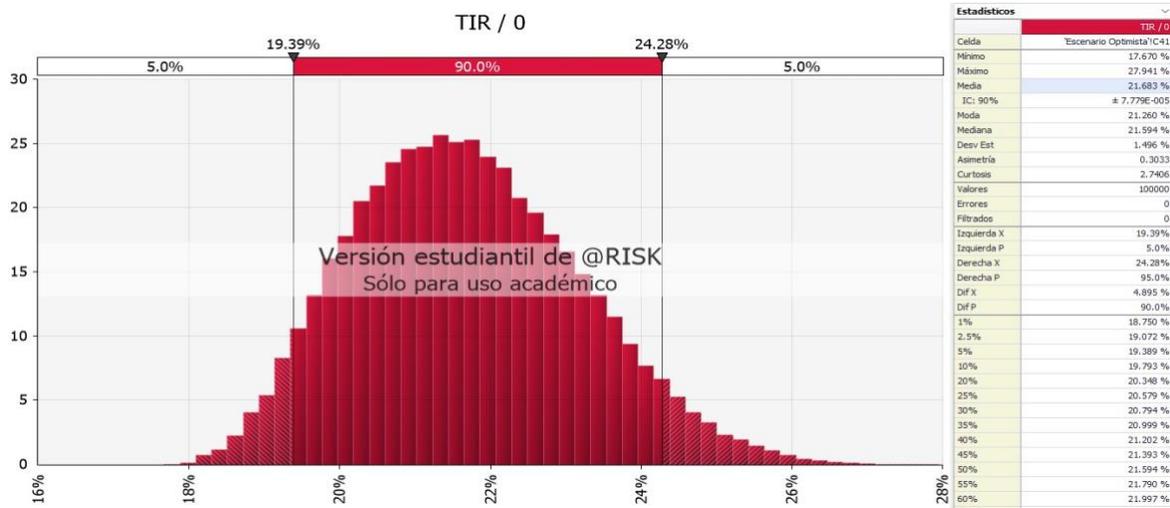
Debido a la poca variabilidad que se maneja de una simulación a otra, como se puede demostrar en el cálculo de la varianza muestral (S^2_n), y al observar que a un mayor número de iteraciones se pierde aún más esta variabilidad, se decidió de manera arbitraria, hacer el análisis con una sola corrida del modelo de simulación Monte Carlo, pero con 100,000 iteraciones, esto para ambos escenarios planteados.

Por lo que primero analizaremos las variables de salida para el escenario optimista, se puede observar que con el análisis estadístico realizado por el software @RISK se obtuvieron los siguientes resultados.

El comportamiento que tiene la TIR alrededor de toda la simulación es el siguiente, el valor mínimo que este toma es de 17.67%, el valor máximo es de 27.94% y la media de estos valores es de 21.68%, con una desviación estándar 1.49%, en el histograma de frecuencia acumulada se pueden observar estos datos, además podemos ver valores positivos en asimetría y curtosis, indicándonos que los datos están concentrados alrededor de la media, por lo que desde ver las medidas de

forma de nuestro histograma nos indican que tienen un buen comportamiento estadístico (véase Figura 10).

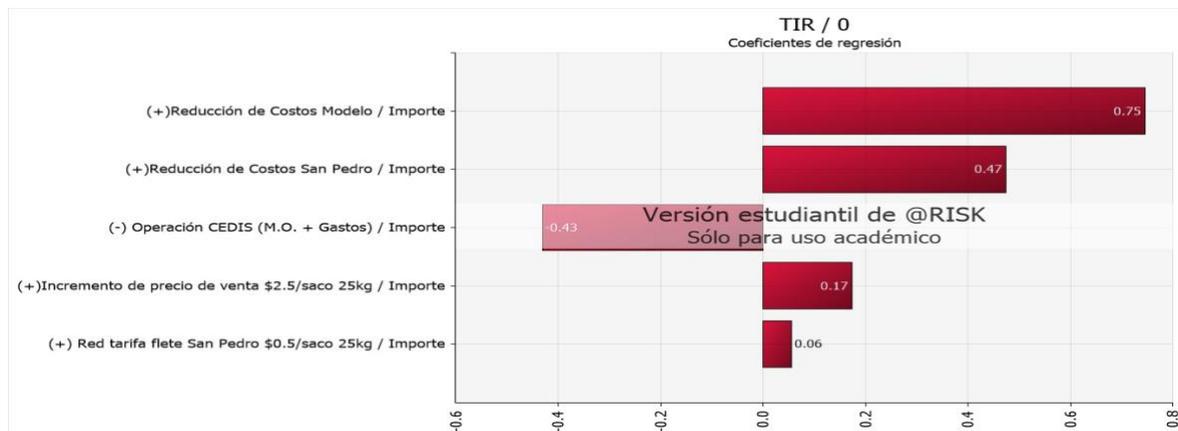
Figura 10 Histograma de TIR – Escenario optimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

Es necesario determinar cuál de las variables contribuyen principalmente a la varianza en el resultado de la TIR (véase Figura 11), en la que podemos ver que las tres cantidades más altas tanto como de ingresos y de egresos, son las variables que mayor incertidumbre aportan al sistema, por lo que podemos decir que mientras más aumento o disminución se tengan de estas variables, mayor o menor serán los resultados de la TIR.

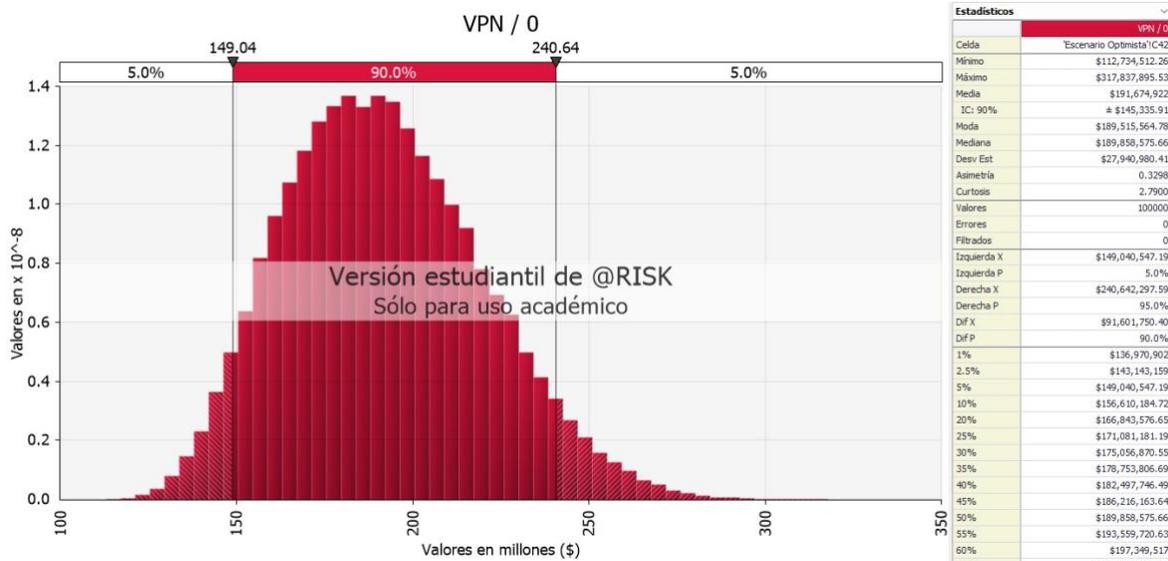
Figura 11 Coeficientes de regresión de TIR – Escenario optimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

El VPN (Valor Presente Neto) se comporta de la siguiente manera, el valor mínimo que este toma es de \$112,734,512, el valor máximo es de \$317,837,895 y la media de esta simulación es de \$191,674,922, con una desviación estándar \$27,940,980, en el histograma de frecuencia acumulada se pueden observar estos datos (véase Figura 12), además al ver valores positivos en asimetría y curtosis, podríamos decir que todos los indicadores se comportan de la misma manera en cuestión de medidas de forma del histograma, por lo que podemos decir que tienen buen comportamiento estadístico.

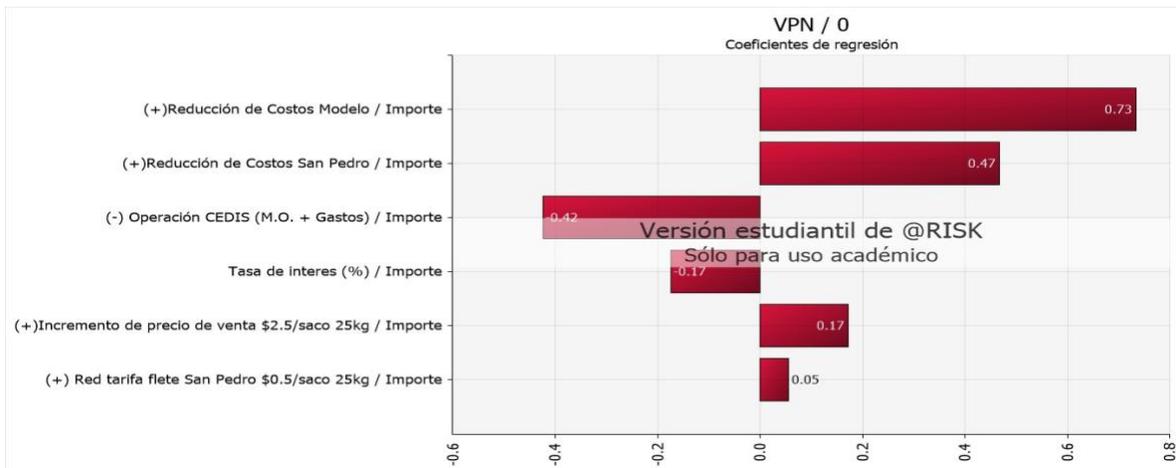
Figura 12 Histograma de VPN – Escenario optimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

Al determinar cuál de las variables contribuyen principalmente a la varianza en el resultado del VPN (véase Figura 13), podemos ver que tienen un comportamiento similar al del TIR, haciendo una inferencia lógica que estas tres variables son las que más afectan a todo el sistema simulado, y estas al tener un cambio se tendría un cambio significativo en todos los resultados de salida, y es algo lógico ya que estas cantidades son las que aportan una mayor cantidad monetaria a la simulación, haciendo que sean las de mayor impacto.

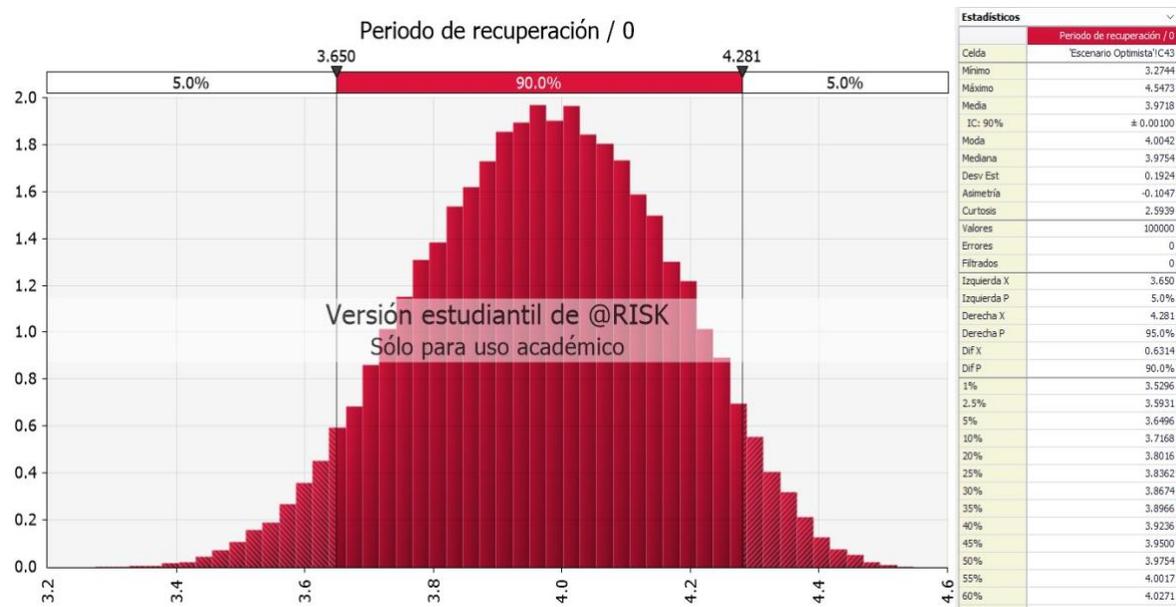
Figura 13 Coeficientes de regresión de VPN – Escenario optimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

El periodo de recuperación va desde un mínimo de 3.27 zafras a un máximo de 4.54 zafras, con una media de 3.97 zafras y una desviación estándar de 0.19 zafras, en esta podemos ver una asimetría negativa en la que podemos decir que esta distribución tiene diferentes valores a la izquierda de la media que a su derecha, pero vemos una curtosis positiva indicándonos que casi todos los valores están muy cercanos a la media (véase Figura 14).

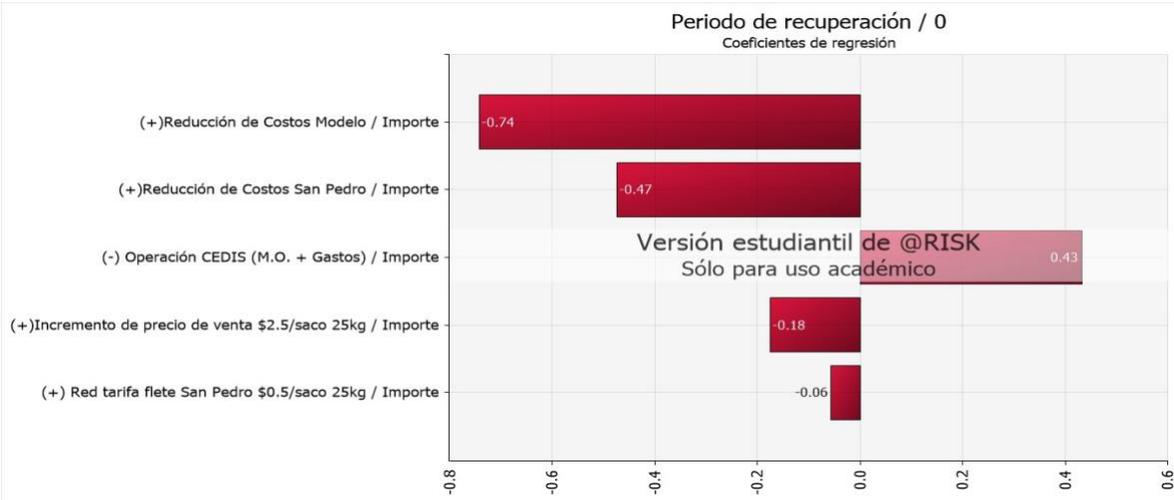
Figura 14 Histograma de periodo de recuperación – Escenario optimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

En la Figura 15, podemos ver que las variables afectan de una manera negativa al periodo de recuperación, esto se debe a que mientras mayor sea la reducción de costos en el ingenio El Modelo o San Pedro, menor será el periodo de recuperación, por otra parte mientras mayor sea la cantidad de operación del CEDIS, el periodo de recuperación el periodo de recuperación aumentaría, por lo que podemos ver que las variables más impactantes siguen siendo las mismas, pero con una afectación diferente a las anteriores.

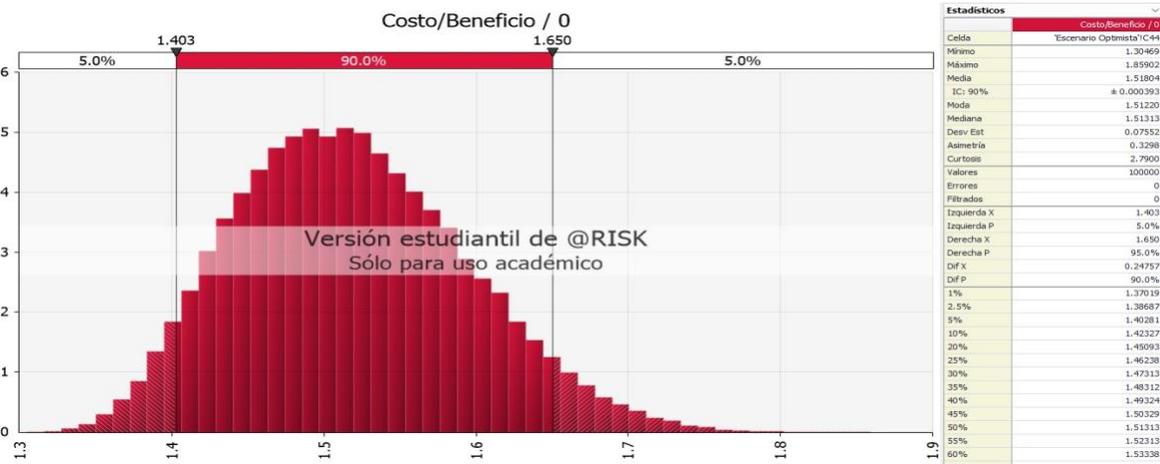
Figura 15 Coeficientes de regresión de periodo de recuperación – Escenario optimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

El costo/beneficio de la simulación tiene resultados entre 1.30 como mínimo y 1.85 como máximo, con una media de 1.51, y una desviación estándar de 0.07, su asimetría y curtosis son positivas, por lo que se tiene un comportamiento parecido a los histogramas de la TIR y el VPN, recordemos que la interpretación de los datos analizados con costo/beneficio, tienen que ser mayores a 1, para decir que son favorables, en este caso que tomaremos la media como un resultado, podríamos decir que por cada \$1 invertido, se recuperaría \$0.51 (véase Figura 16).

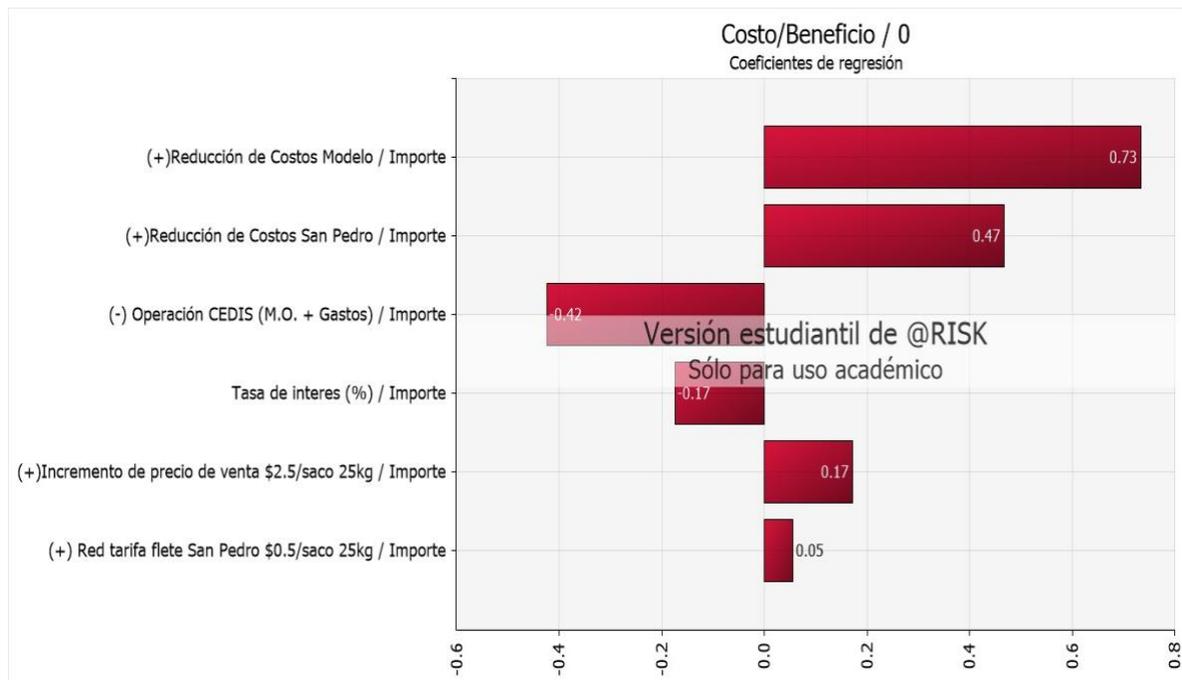
Figura 16 Histograma de costo/beneficio – Escenario optimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

En la Figura 17, podemos observar que las variables con mayor impacto siguen siendo las mismas, y que se comportan como en TIR y VPN, las primeras dos tienen un impacto positivo, ya que a mayor reducción de costes, mejores resultados se tendrán en el costo/beneficio.

Figura 17 Coeficientes de costo/beneficio – Escenario optimista

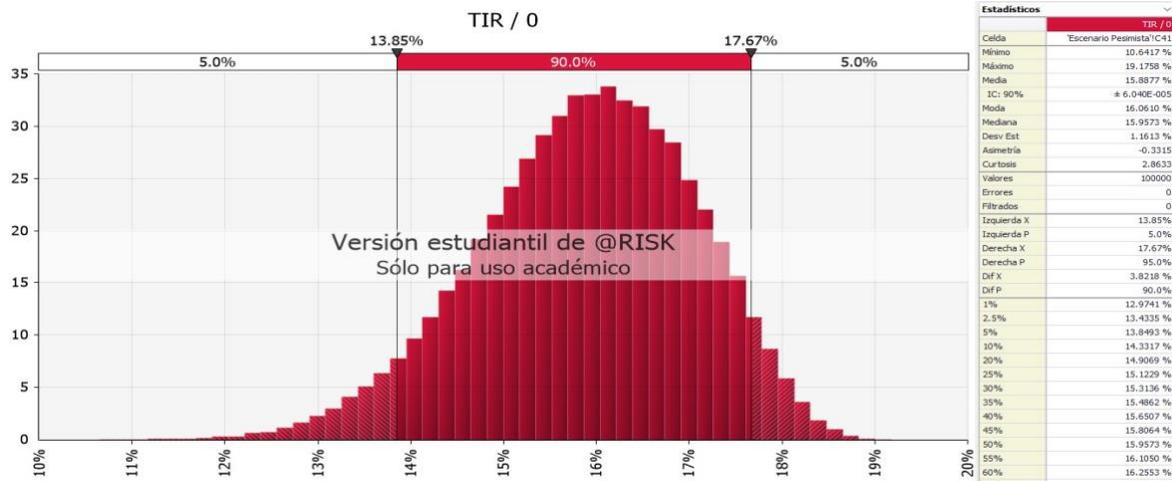


Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

Seguido de este análisis, se observa cómo se comportan las variables de salida para el escenario pesimista con el análisis estadístico realizado por el software @RISK.

El comportamiento de la TIR en el escenario pesimista, tiene como valores entre un mínimo de 10.64% a un máximo de 19.17%, con una media de 15.88%, y una desviación estándar de 1.16%, también podemos ver una asimetría negativa, por lo que entendemos que la distribución tiene diferentes valores a la izquierda de la media que a su derecha, pero vemos una curtosis positiva indicándonos que casi todos los valores están muy cercanos a la media (véase Figura 18).

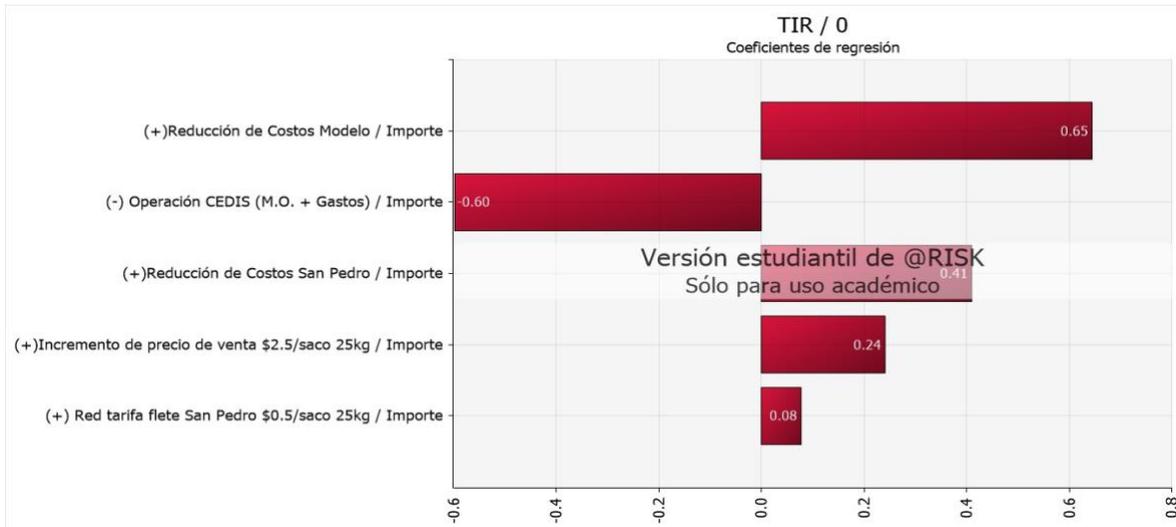
Figura 18 Histograma de TIR – Escenario pesimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

En la Figura 19, podemos ver un cambio en comparación del comportamiento del TIR en el escenario optimista (véase Figura 11), ya que ahora la operación tiene un mayor impacto negativo en el resultado de la TIR, haciéndola la segunda más alta, mientras que en el escenario optimista es la tercera. Aún así, las variables que más impactan siguen siendo las mismas, pero con diferente intensidad. Por lo que podemos intuir que ambos escenarios no se comportan de la misma manera y son mutuamente excluyentes.

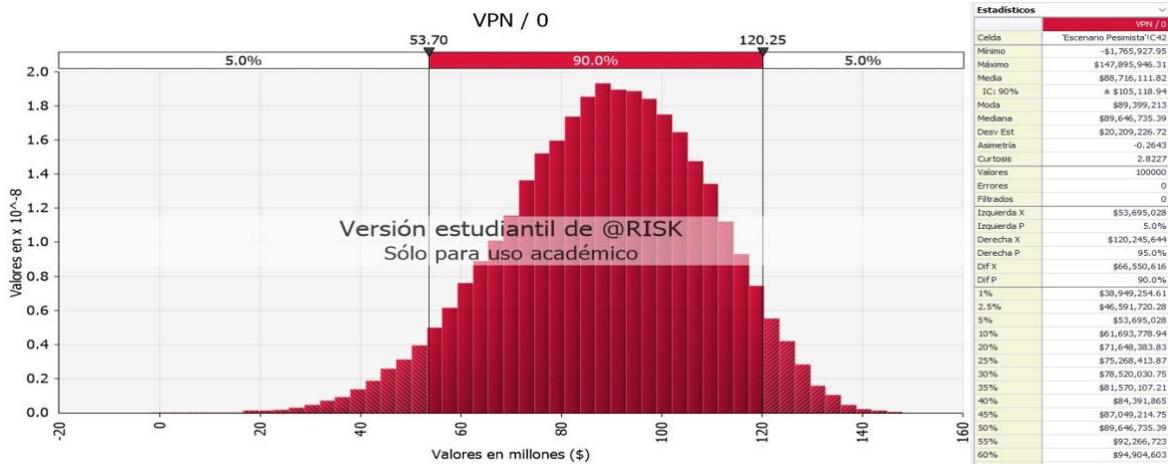
Figura 19 Coeficientes de TIR – Escenario pesimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

El VPN se comporta entre un valor mínimo de -\$1,765,927 y un máximo de \$147,895,946, con una media de \$88,716,946 y una desviación estándar de \$20,209,226 (véase Figura 20), en cuanto a su análisis de medidas de forma del histograma vemos una asimetría y curtosis parecida a la de la TIR.

Figura 20 Histograma de VPN – Escenario pesimista

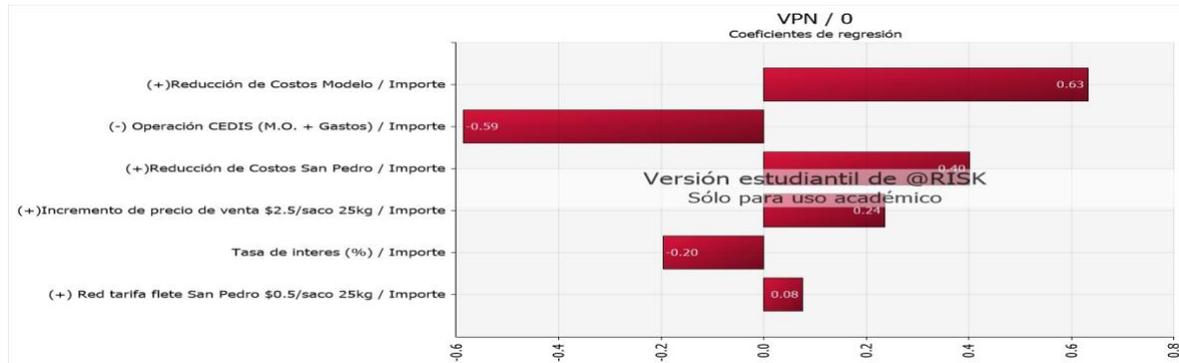


Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

En la Figura 21, vemos que el comportamiento de las variables es exactamente el mismo que en el anterior indicador, ya que la reducción de costos en el Ingenio El Modelo, tiene una afectación positiva al valor del VPN, la operación del CEDIS tiene

una afectación negativa al VPN y la reducción de costos del Ingenio San Pedro con mayor intensidad pero también tiene una afectación positiva al VPN.

Figura 21 Coeficientes de VPN – Escenario pesimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

El periodo de recuperación en un escenario pesimista, nos arroja un valor mínimo de 4.32 zafras, un máximo de 5.97 zafras y una media 4.86 zafras, con una desviación estándar de 0.21 zafras, en este caso observando que sus medidas gráficas del histograma nos indican que tanto la asimetría y la curtosis son positivas, por lo que podemos decir que la distribución tiene más valores diferentes a la derecha de la media que a su izquierda y los datos están muy concentrados alrededor de la media, por lo que podíamos decir que tienen buen comportamiento estadístico (véase Figura 22).

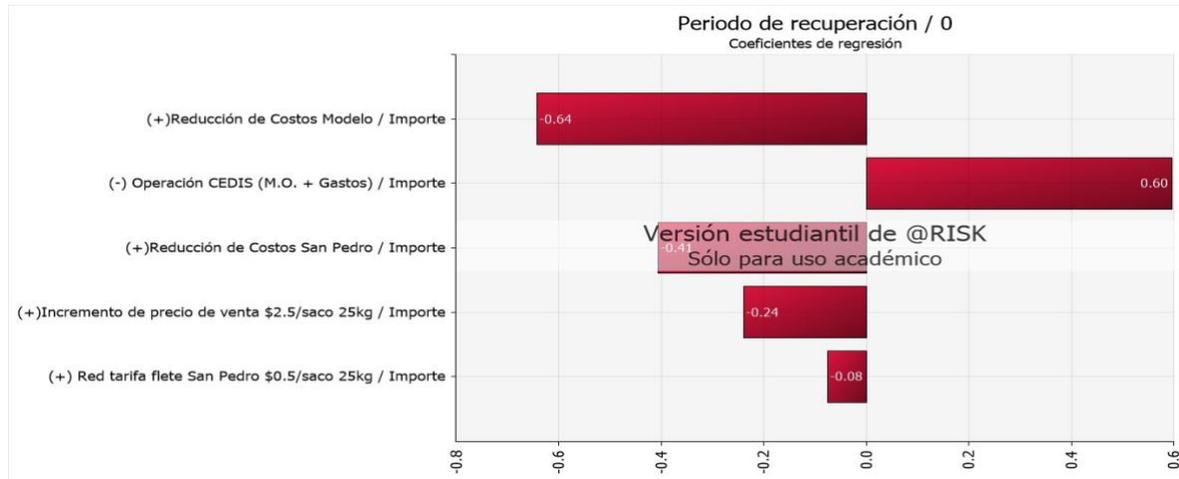
Figura 22 Histograma de periodo de recuperación – Escenario pesimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

En la Figura 23, podemos observar que la reducción de costos de ambos ingenios, afecta de una manera negativa, por lo que podemos decir que a mayores reducciones, se tendría un número menor en el periodo de recuperación, por todo lo contrario que los costes de operación del CEDIS afectan de una manera positiva, aumentando el periodo de recuperación si se esta variable aumenta.

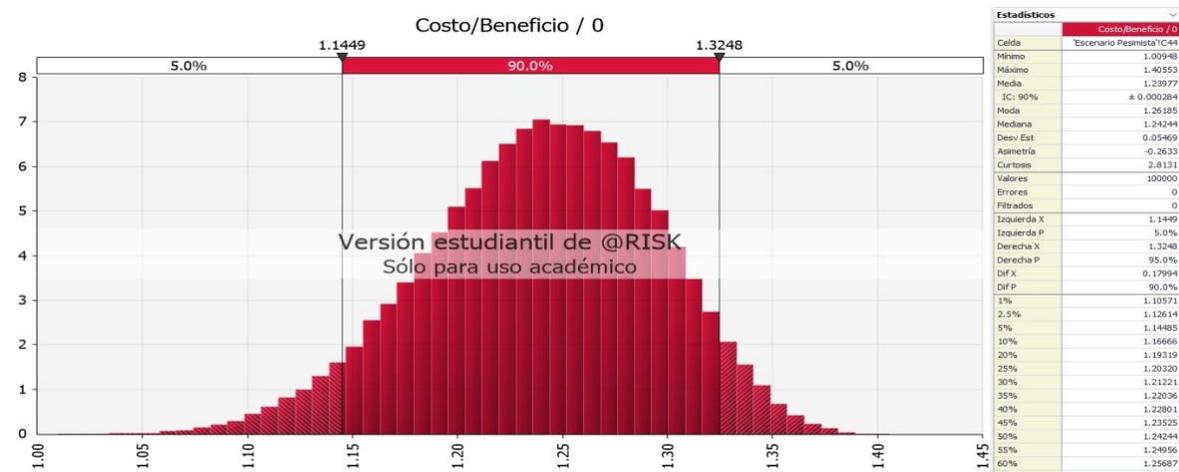
Figura 23 Coeficientes de periodo de recuperación – Escenario pesimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

El costo/beneficio se encuentra entre 1.009 como mínimo, y 1.40 como máximo, con una media de 1.23, y una desviación estándar 0.05, por lo que por cada peso invertido ganaríamos \$0.23 (véase Figura 24).

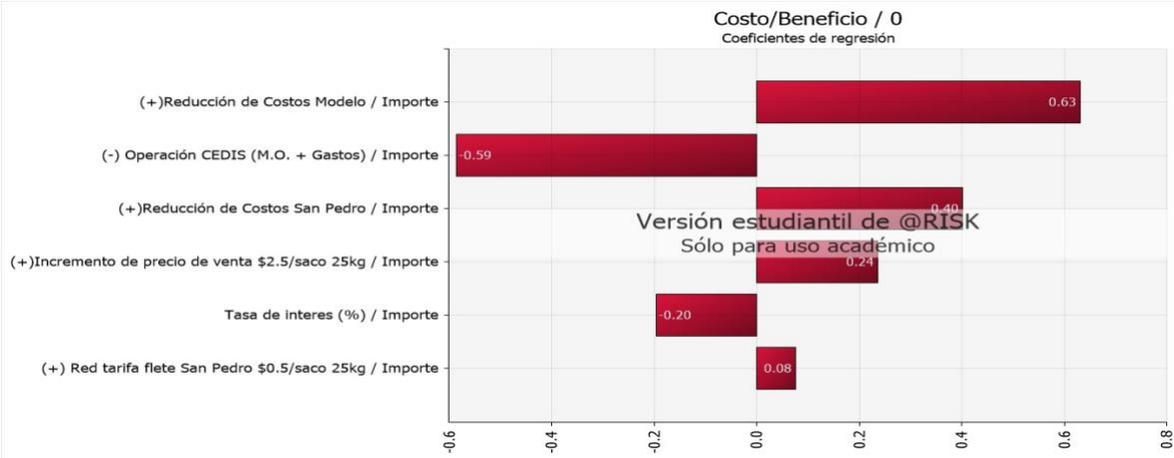
Figura 24 Histograma de costo/beneficio – Escenario pesimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

En la Figura 25, podemos ver que la reducción de costos de ambos ingenios afecta de una manera positiva, haciendo que los costos/beneficio tenga un aumento a medida que estas variables aumentan, por otro lado el costo de operación del CEDIS, tiene un impacto negativo, al aumentar esta variable, el costo/beneficio disminuye.

Figura 25 Coeficientes de costo/beneficio – Escenario pesimista



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

3.3.6 Técnica de inteligencia artificial

En el uso de una técnica de inteligencia artificial, se optó por trabajar con algoritmos genéticos, trabajándolos con RISKOptimizer.

Apoyados por Excel, creamos una plantilla donde se trabajaron los algoritmos genéticos, en la cual se creó una tabla como la siguiente (ver tabla 21).

Tabla 21 Plantilla de algoritmos genéticos

Conceptos de variables	Mínimo		Máximo
(+) Reducción de Costos San Pedro	\$29,676,247	entre	\$43,641,540
(+) Reducción de Costos Modelo	\$46,746,523	entre	\$68,744,886
(+) Incremento de precio de venta	\$18,132,540	entre	\$24,532,260
(+) Red tarifa de flete	\$1,069,910	entre	\$3,209,730
(-) Operación CEDIS (M.O. + Gastos)	\$28,558,100	entre	\$31,405,179

Elaboración propia.

Los mínimos y máximos de esta tabla, fueron tomados de los escenarios optimista y pesimista, que se ocuparon en la simulación Monte Carlo.

Después de esto se definió el modelo matemático para calcular la utilidad del proyecto, que es el siguiente:

$$Max_{Utilidad} = (RCSP + RCM + PV + TF) - MO \quad \text{Ecuación 18}$$

Sujeto a:

$$29,676,247 \leq RCSP \leq 43,641,540 \quad \text{Ecuación 19}$$

$$46,746,523 \leq RCM \leq 68,744,886 \quad \text{Ecuación 20}$$

$$18,132,540 \leq PV \leq 24,532,260 \quad \text{Ecuación 21}$$

$$1,069,910 \leq TF \leq 3,209,730 \quad \text{Ecuación 22}$$

$$28,558,100 \leq MO \leq 31,405,179 \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

$RCSP =$ Reducción de costos San Pedro (\$)

$RCM =$ Reducción de costos Modelo (\$)

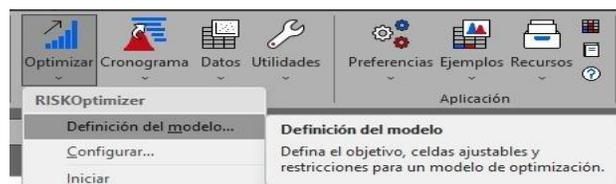
$PV =$ Incremento de precio de venta (\$)

$TF =$ Red tarifa de flete (\$)

$$MO = \text{Operación Cedis } (\$)$$

Al definir nuestro modelo matemático, dejamos unas celdas vacías, donde están señaladas las variables. Ya que estas serán señaladas para que sean las celdas ajustables, en ella se podrán las cantidades óptimas de este modelo, y una más donde indicaremos la máxima utilidad, en la cual pondremos la fórmula para calcularla (ver figura 26).

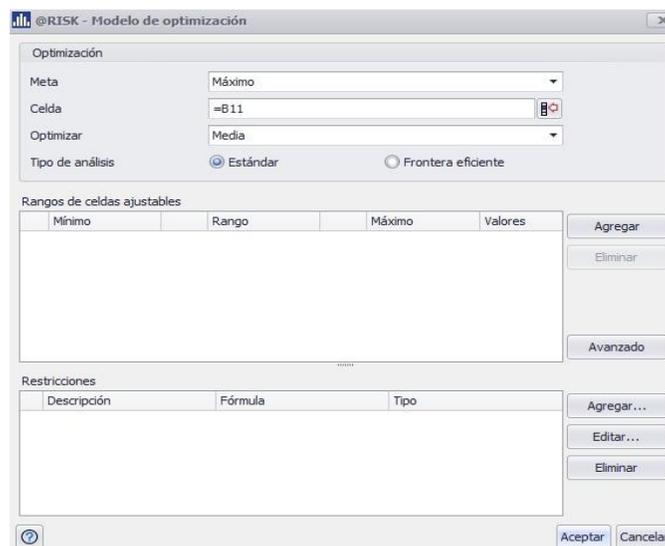
Figura 26 Definición del modelo



Obtenido del software RISKOptimizer. Elaboración propia.

Después de ya tener declarada la plantilla, se definió el modelo en el software, para que el RISKOptimizer empiece a analizar todos los escenarios posibles, en la Figura 27, se puede ver la opción que te da el software para hacer este procedimiento, en la cual se ve un espacios para declarar los rangos de celdas ajustables y otro de restricciones.

Figura 27 Modelo de optimización



Obtenido del software RISKOptimizer. Elaboración propia.

Al tener declarado el modelo de optimización, ahora debemos darle las configuraciones de optimización, por lo que se decidió hacer 1000 pruebas, teniendo un generador de optimización de algoritmos genéticos, con un tamaño de población de 200, una tasa de cruce automático y una tasa de mutación automático, por lo que se adaptaran a la mejor opción por defecto. En la Figura 28, podemos ver como se fueron desarrollando todas las pruebas.

Figura 28 Desarrollo de todas las pruebas



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

En la que podemos ver cómo fue evolucionando mediante las pruebas hasta alcanzar en casi la prueba 250 el mejor resultado, en la Figura 29 podemos ver el comportamiento de los algoritmos genéticos, donde nos menciona que la mejor utilidad encontrada es de \$111,570,315. Y dando resultados independientes para:

$$RCSP = \$43,641,540$$

$$RCM = \$68,744,886$$

$$PV = \$24,532,260$$

$$TF = \$3,209,730$$

$$MO = \$28,558,101$$

Figura 29 Evolución de los algoritmos genéticos



Obtenido del software RISK. Elaboración propia.

Por lo que podemos ver que se cumplen las restricciones, y al remplazar estas cantidades dadas en el modelo matemático, podemos ver que la cantidad es la ya arrojada por la optimización de RISKOptimizer.

$$Max_{Utilidad} = (RCSP + RCM + PV + TF) - MO \quad \text{Ecuación 24}$$

$$Max_{Utilidad} = (43,641,540 + 68,744,886 + 24,532,260 + 3,209,730) - 28,558,101 \quad \text{Ecuación 25}$$

$$Max_{Utilidad} = 111,570,315 \quad \text{Ecuación 26}$$

Al ya tener la utilidad que se tendría anualmente, procedemos a hacer un estudio de factibilidad para poder tener indicadores de factibilidad del proyecto (véase Tabla 22).

Tabla 22 Estudio de factibilidad económica escenario más óptimo.

Año	Ingresos	Egresos	Inversión	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0			-370,000,000	-370,000,000	
1	140,128,416	28,558,101		111,570,315	111,570,315
2	140,128,416	28,558,101		111,570,315	223,140,630
3	140,128,416	28,558,101		111,570,315	334,710,945
4	140,128,416	28,558,101		111,570,315	446,281,260
5	140,128,416	28,558,101		111,570,315	557,851,575
6	140,128,416	28,558,101		111,570,315	669,421,890
7	140,128,416	28,558,101		111,570,315	780,992,205
8	140,128,416	28,558,101		111,570,315	892,562,520
9	140,128,416	28,558,101		111,570,315	1,004,132,835
10	140,128,416	28,558,101		111,570,315	1,115,703,150

Elaboración propia.

A través de este estudio y utilizando las fórmulas proporcionadas por Excel, podemos determinar que la TIR para este escenario es del 27.50%, mientras que la VPN asciende a \$295,047,093. Es importante recordar que este último valor puede variar debido a que la tasa de interés se modela mediante una distribución triangular. De manera similar, en los escenarios optimista y pesimista, el período de recuperación de la inversión se estima en 3.32 zafras, y el índice de costo/beneficio para este escenario se calcula en \$0.82 ganados por cada peso invertido.

Por otra parte el registro de optimización también nos arroja el escenarios menos óptimo, para poder analizarlo y compararlo con los otros escenarios desarrollados, y se procedio a hacerle un estudio de factibilidad económica (véase Tabla 23).

$$Min_{Utilidad} = (RCSP + RCM + PV + TF) - MO \quad \text{Ecuación 27}$$

$$Min_{Utilidad} = (29,676,248 + 46,746,523 + 18,132,540 + 1,069,910) - 31,405,179 \quad \text{Ecuación 28}$$

$$Min_{Utilidad} = 64,220,042 \quad \text{Ecuación 29}$$

Tabla 23 Estudio de factibilidad económica escenario menos óptimo.

Año	Ingresos	Egresos	Inversión	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0			-370,000,000	-370,000,000	
1	95,625,221	31,405,179		64,220,042	64,220,042
2	95,625,221	31,405,179		64,220,042	128,440,084
3	95,625,221	31,405,179		64,220,042	192,660,126
4	95,625,221	31,405,179		64,220,042	256,880,168
5	95,625,221	31,405,179		64,220,042	321,100,210
6	95,625,221	31,405,179		64,220,042	385,320,252
7	95,625,221	31,405,179		64,220,042	449,540,294
8	95,625,221	31,405,179		64,220,042	513,760,336
9	95,625,221	31,405,179		64,220,042	577,980,378
10	95,625,221	31,405,179		64,220,042	642,200,420

Elaboración propia.

Al igual que el escenario anterior, mediante Excel, podemos definir que la TIR de este escenario es de 11.53%, la VPN es de \$18,786,409, el periodo de recuperación de la inversión es de 5.76 zafas y el costo/beneficio que obtendrían en este escenario es de \$0.04 ganados por cada peso invertido.

3.4 Conclusión.

Al finalizar la presentación de este capítulo, se hace evidente que la elección de las técnicas para analizar los datos entregados por el encargado del proyecto ha sido acertada. Los resultados obtenidos han brindado la información crucial que requeríamos para la elaboración del próximo capítulo, en el cual se expondrán los resultados. Desde este punto del desarrollo del proyecto, se puede concluir con confianza que estamos avanzando en línea con los objetivos que habíamos establecido previamente.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Introducción.

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de la metodología aplicada. Siguiendo el enfoque propuesto, se llevo a cabo un análisis minucioso que generó resultados claros. Para facilitar la comprensión del sistema, se segmentaron los resultados según las técnicas aplicadas. Esta estructuración permite detallar los resultados de cada técnica y cómo cada una contribuyó a la resolución de aspectos específicos de la investigación.

4.2 Simulación de eventos discretos en SIMIO.

Al ejecutar las 15 corridas óptimas del modelo de simulación y realizar un seguimiento de las etiquetas correspondientes a las tarifas de flete de \$1.50, \$0.50 y \$0.25 por saco de 25 kg, se calcularán los promedios de estos datos (véase Tabla 24). Estos promedios se multiplicarán por los 365 días del año para determinar cuánto se podría ahorrar si la tarifa de flete mejorara. Todo este análisis se respalda con el estudio financiero realizado mediante la simulación Monte Carlo.

El estudio financiero permitirá evaluar el impacto de diferentes escenarios de tarifas de flete en los costos anuales y determinar las oportunidades de ahorro en función de los resultados obtenidos en las corridas de simulación. Este enfoque basado en Monte Carlo proporciona una evaluación más precisa y realista de las implicaciones financieras y permite tomar decisiones informadas sobre la optimización de las tarifas de flete.

Tabla 24 15 corridas de SIMIO

Número de corrida	Flete en \$1.50	Flete en \$0.50	Flete en \$0.25
1	10,965.50	3,655.50	1,827.50
2	10,958	3,653	1,827
3	10,976	3,659	1,830
4	10,971.50	3,657.50	1,829.50
5	10,961	3,654	1,828
6	10,977.50	3660.50	1,830.50
7	10,955	3,652	1,826
8	10,969.50	3,656.50	1,828.50
9	10,973.50	3,658.50	1,829.50
10	10,967.50	3,655.50	1,827.50
11	10,979	3,661.50	1,831.50
12	10,963.50	3,654.50	1,826.50
13	10,974.50	3,658.50	1,830.50
14	10,963	3,654	1827
15	10,970	3,657	1828
Promedio	10,965.93	3,655.30	1,825.36
Anual	4,002,575	1,337,840	668,082
Ahorro		2,665,735	3,334,493

Elaboración propia.

Se espera que la tarifa sea de \$0.50 por cada saco de 25 kg, lo cual indica la posibilidad de obtener una oportunidad cercana a \$2,665,735 en el escenario de SIMIO esperado. Esta cifra se acerca a la cantidad proporcionada por el experto en el proyecto CEDIS Veracruz, que es de \$2,139,820. Además, si se logra llegar a un acuerdo con el proveedor de fletes a un precio de \$0.25 por cada saco de 25 kg, se abriría una oportunidad aún mayor de \$3,334,493, denominada escenario de SIMIO optimista.

El propósito del estudio de factibilidad económica es evaluar la viabilidad financiera del proyecto a partir de los resultados derivados de la simulación. Este análisis desempeña un papel crucial al proporcionar información para tomar decisiones fundamentadas sobre la viabilidad y rentabilidad del proyecto. Además, permite identificar oportunidades para optimizar y ajustar aspectos del proyecto con el fin de maximizar los beneficios económicos potenciales.

En resumen, el estudio de factibilidad económica proporcionará una evaluación detallada de las oportunidades económicas asociadas con los diferentes escenarios de tarifas de flete, incluyendo el escenario de SIMIO esperado y el escenario de SIMIO optimista (ver tabla 25). Esto permitirá tomar decisiones estratégicas y fundamentadas para optimizar los beneficios del proyecto.

Tabla 25 Comparación escenario esperado contra escenarios de SIMIO

Indicadores de evaluación	Escenario Esperado	Escenario de SIMIO esperado	Escenario de SIMIO optimista
TIR	18.34%	18.52%	18.74%
VPN	\$131,152,086	\$134,309,330	\$138,337,772
Periodo de recuperación	4.44 zafas	4.41 zafas	4.38 zafas
Costo/Beneficio	1.35	1.36	1.37

Elaboración propia.

Al examinar la Tabla 25, podemos notar que hay cambios mínimos en cada uno de los escenarios analizados, excepto en el Valor Presente Neto (VPN), donde se produce el cambio más notable. En comparación con el escenario esperado por el experto, el VPN varía en más de 3 millones de pesos cuando se compara con el escenario esperado por SIMIO. Si consideramos una perspectiva extremadamente optimista, esta diferencia en el VPN podría incluso superar los 7 millones de pesos.

Sin embargo, es importante destacar que, a pesar de estas diferencias significativas en el VPN, los demás indicadores muestran un comportamiento muy similar a las expectativas del experto en los escenarios analizados.

Es fundamental examinar detenidamente los valores de los indicadores en cada escenario y compararlos con las expectativas del experto para obtener una comprensión más precisa de la naturaleza y el impacto de estos cambios.

Además, debemos tener en cuenta que la interpretación de los resultados y la evaluación de su relevancia dependen del contexto y los criterios utilizados en el análisis. Sería beneficioso profundizar en la información proporcionada en la tabla y considerar otros factores relevantes antes de llegar a conclusiones definitivas.

4.3 Simulación Monte Carlo en @RISK.

Una vez que se cuentan con los datos simulados para cada uno de los escenarios, es fundamental realizar una comparativa exhaustiva entre ellos para llevar a cabo un análisis detallado del comportamiento del sistema simulado en Monte Carlo.

En este análisis comparativo, se evaluarán diversos indicadores y resultados relevantes obtenidos de los escenarios. Al comparar los escenarios, se podrán identificar las diferencias significativas entre ellos y evaluar cómo se comporta el sistema en cada caso. Esto permitirá tomar decisiones informadas y estratégicas para determinar la viabilidad y rentabilidad de los escenarios, así como identificar posibles ajustes en el sistema (ver tabla 26).

Tabla 26 Comparación de escenario esperado contra escenario optimista, pesimista y escenario con 4 máquinas

Indicadores de evaluación	Escenario Esperado	Escenario Optimista	Escenario Pesimista	Esc. 4 máquinas
TIR	18.34%	21.68%	15.88%	17.49%
VPN	\$131,152,086	\$191,674,922	\$88,716,946	\$119,830,532
Periodo de recuperación	4.44 zafras	3.97 zafras	4.86 zafras	4.58 zafras
Costo/Beneficio	1.35	1.51	1.23	1.31

Elaboración propia.

Al examinar detenidamente la Tabla 26 y comparar los diferentes escenarios con las expectativas del experto, se hacen evidentes cambios significativos. Entre todos los escenarios considerados, aquel que involucra el uso de 4 máquinas muestra la menor cantidad de alteraciones. Esto implica que iniciar el proyecto con 4 máquinas no generaría un impacto económico negativo tan drástico como en otros casos.

En este escenario en particular, se observa una disminución de menos del 1% en la Tasa Interna de Retorno (TIR), una reducción de poco más de 11 millones en el Valor Presente Neto (VPN), un aumento de aproximadamente 0.14 años en el periodo de recuperación y una disminución de 0.04 centavos en el costo/beneficio. Estos cambios se comparan con las expectativas establecidas por el experto.

Estos resultados subrayan la importancia de considerar cuidadosamente el número de máquinas utilizadas al inicio del proyecto, ya que puede tener un impacto significativo en los indicadores financieros. Sin embargo, es fundamental evaluar otros factores y evaluarlos en conjunto antes de tomar decisiones finales.

En contraste, se observa que la Tasa Interna de Retorno (TIR) muestra un incremento de más del 3% en el escenario optimista en comparación con el escenario esperado, mientras que en el escenario pesimista hay una disminución de más del 2%. En cuanto al Valor Presente Neto (VPN), el escenario optimista experimenta una variación positiva de más de 60 millones de pesos, mientras que el escenario pesimista muestra una variación negativa de más de 42 millones de pesos. En relación al periodo de recuperación, tanto en el escenario optimista como en el pesimista, se observa una variación de aproximadamente 0.5 años menos y más, respectivamente. Además, el costo/beneficio se incrementa en 0.16 centavos en el escenario optimista y se reduce en 0.12 centavos en el escenario pesimista.

4.4 Algoritmos genéticos en RISKOptimizer.

La utilización de un modelo matemático y la implementación de algoritmos genéticos han sido herramientas sumamente valiosas en este proyecto de investigación. A

través de este enfoque, se ha tenido la capacidad de analizar todas las posibles opciones y escenarios, permitiendo identificar aquellos que ofrecen la mayor utilidad y, de igual manera, aquellos que presentan una menor utilidad. Esta metodología nos brinda la posibilidad de evaluar y comparar diferentes alternativas, ayudándonos a determinar cuáles son los mejores y peores escenarios posibles.

El modelo matemático nos ha proporcionado una estructura sólida y precisa para representar el problema en estudio, permitiéndonos capturar de manera adecuada todas las variables, restricciones y relaciones existentes. Esto nos ha brindado la base necesaria para desarrollar los algoritmos genéticos, los cuales se encargan de explorar y buscar soluciones óptimas dentro del espacio de posibilidades definido por el modelo.

El uso de los algoritmos genéticos ha sido particularmente beneficioso, ya que su capacidad para realizar búsquedas a través de iteraciones y adaptación mediante la evolución genética ha permitido encontrar soluciones eficientes y de alta calidad. Estos algoritmos han sido capaces de explorar ampliamente el espacio de soluciones, evaluando diferentes combinaciones y seleccionando aquellas que maximizan o minimizan la función objetivo, dependiendo del objetivo del estudio.

El análisis detallado de cada escenario generado por el modelo matemático y los algoritmos genéticos ha sido fundamental para tomar decisiones informadas y fundamentadas. Al tener una visión clara de los resultados obtenidos en términos de utilidad, podemos identificar los escenarios más favorables, que nos brindarán los mayores beneficios, así como aquellos menos favorables, que deberemos evitar o minimizar en la medida de lo posible (ver tabla 27).

Tabla 27 Comparación de escenario esperado contra escenario más y menos óptimo

Indicadores de evaluación	Escenario Esperado	Escenario Más Óptimo	Escenario Menos Óptimo
TIR	18.34%	27.50%	11.53%
VPN	\$131,152,086	\$299,267,794	\$15,231,554
Periodo de recuperación	4.44 zafras	3.32 zafras	5.76 zafras
Costo/Beneficio	1.35	1.80	1.04

Elaboración propia.

Al realizar una comparación entre el escenario más óptimo y el escenario esperado por el experto, se observan diferencias significativas en varios indicadores clave.

En primer lugar, la Tasa Interna de Retorno (TIR) muestra un aumento notable, superando el 9%. Esto indica que el escenario más óptimo ofrece un rendimiento financiero sustancialmente mayor en comparación con las expectativas del experto.

En cuanto al Valor Presente Neto (VPN), se evidencia un incremento significativo de más de 168 millones de pesos. Esto representa un aumento del 228% en comparación con el escenario esperado, lo que demuestra la mayor rentabilidad y generación de valor que se puede lograr en el escenario más óptimo.

El período de recuperación también muestra una mejora notable en el escenario más óptimo. Se observa una reducción de más de un año en comparación con el escenario esperado. Esto implica que en el escenario más óptimo se alcanzaría la recuperación de la inversión de manera más rápida, lo que indica una mayor eficiencia y flujo de efectivo.

Además, se destaca que en el escenario más óptimo se obtendría un beneficio adicional de 0.45 pesos por cada peso invertido, en comparación con el escenario esperado. Esto significa que cada unidad monetaria invertida generaría un mayor retorno en el escenario más óptimo.

En resumen, al comparar el escenario más óptimo con las expectativas del experto, se evidencia un notable incremento en la TIR, un considerable aumento en el VPN, una reducción significativa en el período de recuperación y un mayor retorno por cada peso invertido. Estos resultados indican que el escenario más óptimo presenta un desempeño financiero superior y ofrece mayores beneficios económicos en comparación con las expectativas iniciales.

Y al contrastar el escenario menos óptimo con las expectativas del experto, se aprecian las siguientes diferencias.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) experimenta una disminución superior al 6%. Este descenso indica que el escenario menos óptimo presenta un rendimiento financiero notablemente inferior en comparación con las proyecciones del experto.

En cuanto al Valor Presente Neto (VPN), se observa una disminución considerable del 88%. Esta disminución equivale a una diferencia de más de 115 millones de pesos en comparación con el escenario esperado. Estos resultados reflejan una reducción significativa en la generación de valor económico en el escenario menos óptimo.

En relación al período de recuperación, se observa un incremento de 1.32 años en el escenario menos óptimo en comparación con las expectativas iniciales. Esto implica que el tiempo necesario para recuperar la inversión se prolonga casi hasta los 6 años. Esta prolongación en el período de recuperación indica una menor eficiencia en términos de flujo de efectivo y rentabilidad.

Además, en cuanto al análisis de costo/beneficio, incluso en el escenario menos óptimo, se sigue generando una ganancia de 0.04 centavos por cada peso invertido. Sin embargo, se observa una diferencia de 0.31 centavos en comparación con lo esperado. Esto sugiere que, aunque se mantenga una ganancia en el escenario menos óptimo, esta es significativamente menor en comparación con las proyecciones iniciales.

En resumen, al comparar el escenario menos óptimo con las expectativas del experto, se detecta una disminución en la TIR, una significativa reducción en el VPN, un aumento en el período de recuperación y una disminución en la ganancia de costo/beneficio. Estos resultados indican que el escenario menos óptimo presenta un desempeño financiero inferior y un menor retorno económico en comparación con las expectativas iniciales.

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 28 y Tabla 29, donde se muestran los diferentes escenarios analizados. Estos datos servirán como base para elaborar la conclusión de esta investigación, centrada en el estudio de la viabilidad económica.

En resumen, las tablas presentadas ofrecen una visión completa de los escenarios analizados y servirán como base sólida para las conclusiones finales de este estudio de tesis, proporcionando información valiosa para la toma de decisiones y el desarrollo de proyectos futuros.

Tabla 28 Rango de escenarios analizados: Del peor al mejor – Parte 1

Indicadores de evaluación	Escenario Menos Óptimo	Escenario Pesimista	Esc. 4 máquinas	Escenario Esperado
TIR	11.53%	15.88%	17.49%	18.34%
VPN	\$15,231,554	\$88,716,946	\$119,830,532	\$131,152,086
Periodo de recuperación	5.76 zafras	4.86 zafras	4.58 zafras	4.44 zafras
Costo/Beneficio	1.04	1.23	1.31	1.35

Elaboración propia.

Tabla 29 Rango de escenarios analizados: Del peor al mejor – Parte 2

Indicadores de evaluación	Escenario de SIMIO esperado	Escenario de SIMIO optimista	Escenario Óptimista	Escenario Más Óptimo
TIR	18.52%	18.74%	21.68%	27.50%
VPN	\$134,309,330	\$138,337,772	\$191,674,922	\$299,267,794
Periodo de recuperación	4.41 zafras	4.38 zafras	3.97 zafras	3.32 zafras
Costo/Beneficio	1.36	1.37	1.51	1.80

Elaboración propia.

4.5 Conclusión.

Como se preveía en la hipótesis, los resultados obtenidos se acercaron considerablemente a las expectativas, lo que confirma la viabilidad financiera de este proyecto. Las posibilidades de obtener resultados negativos o por debajo de lo esperado son mínimas.

Esta organización de información refuerza las conclusiones obtenidas al mostrar la coherencia entre las previsiones iniciales y los resultados reales. Así, se respalda de manera sólida la validez de las conclusiones alcanzadas en este estudio.

Conclusiones

En conclusión, los hallazgos de este estudio ofrecen una sólida evidencia de que el proyecto de inversión en cuestión es altamente rentable. Incluso en el escenario más desfavorable identificado, los resultados muestran un retorno positivo de la inversión, superando las expectativas del experto en el proyecto.

Estos resultados respaldan de manera contundente la hipótesis inicial planteada, reafirmando la viabilidad y el potencial económico del proyecto. Además, proporcionan una visión más profunda y clara del estudio de factibilidad económica, gracias al uso de diversas herramientas de análisis, como la simulación de eventos discretos en el software SIMIO, la simulación Monte Carlo en @RISK y el análisis mediante algoritmos genéticos implementados en RISKOptimizer. Estas herramientas permitieron crear y evaluar diferentes escenarios, brindando un enfoque integral para determinar la viabilidad financiera del proyecto.

La metodología utilizada para abordar la simulación discreta mediante SIMIO, considerando variables como distancias reales y número de viajes para calcular tarifas de flete, ha demostrado ser altamente precisa y cercana a las expectativas del experto en el proyecto. Este enfoque nos brinda una mayor confianza en la capacidad del sistema simulado para adaptarse a la realidad esperada, a pesar de no existir aún en la práctica.

La utilización de escalas reales de distancia y la consideración de múltiples viajes en el cálculo de las tarifas de flete han permitido una comparación precisa de los beneficios que se obtendrían. Estos resultados respaldan la validez y la viabilidad del sistema propuesto, ya que reflejan la capacidad de adaptación del proyecto a medida que avanza en su desarrollo.

Es importante destacar que, si bien el sistema simulado todavía no es una realidad tangible, su implementación progresiva y continua permitirá ajustar y afinar los resultados, logrando una mayor precisión y aproximación a la realidad a medida que el proyecto avance. Este enfoque de adaptabilidad y mejora continua es

fundamental para garantizar que el sistema se ajuste a las necesidades y expectativas del entorno operativo en el que se implementará.

Al examinar los dos escenarios analizados dentro del enfoque de simulación discreta, se puede afirmar que existe cierto grado de ventaja al negociar el precio del flete, aunque la opción de una tarifa ya acordada sigue siendo favorable. Tanto la negociación del precio de flete como la opción de una tarifa ya acordada son viables y presentan diferentes ventajas y consideraciones. La elección apropiada dependerá de las necesidades y objetivos del proyecto, así como de las condiciones del entorno empresarial y logístico en el que se lleva a cabo.

Por otra parte, es importante destacar que el cambio requerido, de pasar de sacos de 50 kg a sacos de 25 kg, en cumplimiento con la Norma Oficial Mexicana NOM-036-1-STPS-2018 que aborda los factores de riesgo ergonómico en el trabajo, específicamente el manejo manual de cargas, no presenta una amenaza para el desarrollo del proyecto. Se debe resaltar que las simulaciones realizadas han tomado en cuenta esta modificación en el peso de los sacos, contemplando tanto la cantidad de sacos de 25 kg como su manipulación en el CEDIS-Veracruz. En consecuencia, este ajuste no compromete el proyecto, ya que todas las variables han sido consideradas y adaptadas en las simulaciones correspondientes.

La metodología empleada en la simulación Monte Carlo a través de @RISK ha sido fundamental para analizar tanto escenarios pesimistas como optimistas y comprender el comportamiento del sistema en diferentes condiciones. Además, nos ha permitido generar gráficos de coeficientes de retorno, lo que ha resultado invaluable para identificar las variables que ejercen un mayor impacto en el sistema. Este conocimiento resulta esencial, ya que nos brinda la oportunidad de tomar medidas para controlar y gestionar de manera más efectiva estas variables.

Dentro del manejo de esta metodología, se ha detectado un hallazgo relevante en relación al escenario en el que se operan cuatro máquinas desde el inicio. En este escenario, se ha observado que no tiene un impacto significativo en el retorno de la inversión. Sin embargo, es importante mencionar que sería necesario realizar un

análisis adicional para determinar la cantidad de personal adicional requerido en este caso. Esta área se presenta como una oportunidad de mejora futura, ya que podría ser objeto de estudio y optimización con el objetivo de obtener un rendimiento aún más favorable.

Además, la utilización de algoritmos genéticos en RISKOptimizer ha permitido explorar una amplia gama de posibles escenarios y determinar tanto el mejor como el peor caso para el proyecto. Esta aproximación nos ha brindado una visión más completa de los beneficios potenciales, así como de los riesgos asociados.

A través del análisis detallado de los escenarios examinados, se ha evidenciado que incluso en el escenario menos favorable se obtiene una ganancia mínima, lo que demuestra la confiabilidad y solidez de esta inversión. Estos resultados respaldan de manera contundente la viabilidad y la atracción del proyecto desde una perspectiva financiera.

Los resultados obtenidos respaldan la decisión de llevar a cabo este proyecto de inversión, proporcionando una base sólida y confiable para su implementación. Sin embargo, se recomienda realizar un seguimiento continuo y monitoreo de los indicadores clave de desempeño económico, así como considerar posibles riesgos y ajustes estratégicos en el futuro.

Estos hallazgos también contribuyen al cuerpo de conocimientos en el campo de la evaluación de proyectos, ofreciendo información valiosa para investigaciones futuras y contribuyendo al desarrollo de mejores prácticas en el ámbito de la toma de decisiones financieras.

Referencias bibliográficas

- ACF Industry. (9 de diciembre de 2020). *ACF Industry*. Obtenido de Tipos de ensacadoras industriales: <https://acfindustry.com/tipos-de-ensacadoras-industriales/>
- Aguilera Díaz A. (2017). Cost-benefits as a decision tool for the investment in scientific activities. Universidad de la Habana, Cuba.
- Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación*. 5ª ed. Caracas: Episteme.
- Baca, Urbina Gabriel. (1998). "Evaluación de Proyectos", 3ra Edición.
- Bonmatí, Martínez Julio. (2012). El Ebitda. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3859966.pdf>
- Blanco, L. (2007). *Plan de intervención sobre factores de riesgo laborales en la empresa Monte Rosa S. A*. Universidad Autónoma de Nicaragua.
- Cáceres Chango, R. F., & Cabello Montoya, R. (2010). *Diagnóstico y evaluación de riesgos en las áreas de envase de azúcar, trapiches y calderas del ingenio azucarero San Carlos*. Milagro, Ecuador: Universidad Estatal de Milagro. Obtenido de: <http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/310/4/DIAGNOSTICO%20Y%20EV%20ALUACI%C3%93N%20DE%20RIESGOS%20EN%20LAS%20C3%81REAS%20DE%20ENVASE%20DE%20AZ%20C3%9ACAR%2C%20TRAPICHES%20Y%20CALDERAS%20DEL%20INGENIO%20AZUCARERO%20SAN%20CARLOS..pdf>
- Castro Marin, N., & Quiñonez Preciado, M. C. (2016). *Análisis EVA: Caso de empresa del Sector Azucarero del Valle del Cauca en Colombia*. Cali: Escuela de Economía y Finanzas. Universidad EAFIT.

Castro Vivar I. (2019). Sistema de apoyo a la decisión para la localización de puntos de abastecimiento en la cadena de suministro humanitaria.

Ceballos Eraso, A. I., & Reyes Melo, L. A. (2020). *Repositorio ECCI*. Obtenido de Análisis de accidentalidad laboral del sector agrícola azucarero del Valle del Cauca en los años 2017- 2018: <https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/639/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Chinchilla, E., Rojas, D., & Forastieri, V. (noviembre de 2004). *Consejo Salud Ocupacional*. Obtenido de Seguridad y salud ocupacional en la agricultura. Estudio del proceso de trabajo y operaciones, perfil de riesgos y exigencias laborales en el cultivo e industrialización de caña de azúcar.: https://www.cso.go.cr/documentos_relevantes/tecnicos/series/01_Serie%20tecnica%20No.%201.pdf

Coloma Garofalo, J., Vargas Salazar, J., Sanaguano Guevara, C., & Rochina Chisag, Á. (2020). Inteligencia artificial, sistemas inteligentes, agentes inteligentes. *RECIMUNDO*, 4(2), 16-30. doi:10.26820/recimundo/4.(2). mayo.2020.16-30

Coss Bu, R. (2003). *Simulación. Un enfoque práctico*. México: Limusa.

Dalmeida Decio, 2022. Ingenio Aguaí incorpora Inteligencia Artificial a la industria y manejará sus procesos desde la nube. Brasil. Empresa Soteica Ideas & Technology Ltda.

Duvergél Cobas, Y. y Argota Vega, L.E. (2017). Estudio de factibilidad económica del producto sistema automatizado cubano para el control de equipos médicos. *3C Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 46-63.

ERGODEP. (2018). *ERGODEP*. Obtenido de Las lesiones músculo esqueléticas: <http://ergodep.ibv.org/documentos-de-formacion/1-documentos-de-introduccion/504-las-lesiones-musculoesqueleticas.html>

Esparza, J. Á. (4 de junio de 2021). *Sesame*. Obtenido de ¿Cuáles son las funciones de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social?: https://www.sesamehr.mx/blog/cuales-son-las-funciones-de-la-secretaria-del-trabajo-y-prevision-social/#%C2%BFQue_es_la_Secretaria_del_Trabajo

Fernández Luna, G., Mayagoitia Barragán, V., & Quintero Miranda, A. (2010). *Formulación y evaluación de proyectos de inversión*. México: Instituto Politécnico Nacional. Obtenido de *Formulación y evaluación de proyectos de inversión*.: <https://elibro.net/es/ereader/itorizababiblio/72668?page=19>

García Chávez, L. R., & Escalante Semerena, R. (1997). La agroindustria azucarera de México en el marco de la apertura. *Comercio Exterior*, 33-41.

Gómez Merino, F. C., Trejo Téllez, L. I., Salazar Ortiz, J., Pérez Sato, J. A., Sentíes Herrera, H. E., Bello Bello, J. J., & Aguilar Rivera, N. (2017). La diversificación de la agroindustria azucarera como estrategia para México. *Agroproductividad*, 7-12.

Gómez Merino, F. C., Trejo Téllez, L. I., Salazar Ortiz, J., Pérez Sato, J. A., Sentíes Herrera, H. E., Bello Bello, J. J., & Aguilar Rivera, N. (2017). La diversificación de la agroindustria azucarera como estrategia para México. *Agroproductividad*, 7-12.

González Beristáin, J., & Nash Campos, N. (2015). Perfil epidemiológico de los trabajadores de un Ingenio azucarero. *Revista electrónica de Portales médicos*.

González Peña, K. L. (octubre de 2019). Riesgo ergonómico por posturas inadecuadas. *UNIVERSITARIA*, 3(17), 21-23. Obtenido de <https://revistauniversitaria.uaemex.mx/article/view/13242>

Graham, J.; Harvey, C. "The theory and practice of corporate finance: evidence from the field". *Journal of Financial Economics* No. 60.

- León, G. (2009). *Planeación y Distribución de Instalaciones*. Universidad Autónoma de Tamaulipas, México.
- López, A., & Zamora, M. (2020). *Industria Azúcarera. Estudio de prefactibilidad*. San Rafael: Universidad Técnica Nacional. Facultad regional San Rafael.
- Luna, R. (2001) *Guía para elaborar estudios de factibilidad de proyectos ecoturísticos*. Guatemala: s.n.
- Matos Ramírez, Neeldes; Martínez López, Yoan La inteligencia artificial. Nuevo enfoque en la evaluación de las máquinas en el complejo cosecha – transporte - recepción de la caña de azúcar *Revista Ingeniería Agrícola*, vol. 4, núm. 2, abril-junio, 2014, pp. 60-64 Instituto de Investigaciones de Ingeniería Agrícola La Habana, Cuba
- Mitchell, M. (1996). An introduction to genetic algorithms. *Computers & Mathematics with Applications*, 32(6), 133. [https://doi.org/10.1016/S0898-1221\(96\)90227-8](https://doi.org/10.1016/S0898-1221(96)90227-8)
- Mokate, K. M. (2004). *Evaluación financiera de proyectos de inversión*. Bogotá, Colombia: Alfaomega.
- Muñoz Nieto, R. (7 de julio de 2020). *Seguridad laboral*. Obtenido de Cómo mejorar la seguridad industrial en la industria azucarera: https://www.seguridad-laboral.es/sl-latam/mexico/como-mejorar-la-seguridad-industrial-en-la-industria-azucarera_20200707.html
- Nueva ISO 45001:2018*. (7 de abril de 2021). Obtenido de ¿Cuál es la importancia de la salud ocupacional en las empresas?: <https://www.nueva-iso-45001.com/2021/04/cual-es-la-importancia-de-la-salud-ocupacional-en-las-empresas/>
- Organización Mundial de la Salud. (2010). *World Health Organization*. Obtenido de Entornos laborales saludables: Fundamentos y modelo de la OMS.

Contextualización, prácticas y literatura de soporte.:
http://www.who.int/occupational_health/evelyn_hwp_spanish.pdf

Peña, J. (2007). Planeación del Efectivo. Universidad Autónoma De Santo Domingo.

Rabassa Olazábal, G., González Suárez, E., Pérez Sanchez, A., Miño Valdés, J., & Pérez Martínez, A. (2016). Procedimiento para la evaluación de oportunidades de negocio en la industria azucarera. *Visión de Futuro*, 153-174.

Ramirez Barrera, V. Á., & Ramírez Nieve, Á. E. (2018). Aplicación de simulación Monte Carlo en un sistema de Inventarios Dinámico. *Administración Y Organizaciones*, 13(25), 53-64. Obtenido de <https://rayo.xoc.uam.mx/index.php/Rayo/article/view/165>

Rodríguez Mesa, G.(2006) La evaluación financiera y social de proyectos de inversión. Tercera Edición Facultad de Economía, ISBN: 959-16-0424-6.

Salazar Jiménez, E. J., & Alzate Castro, W. A. (s.f.). *Instituto Internacional de Costos*. Obtenido de Simulación Monte Carlo: Análisis de una herramienta para la proyección del estado de resultados. Un estudio de caso.: <https://intercostos.org/documentos/congreso-15/SALAZAR-JIMENEZ.pdf>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (19 de agosto de 2019). *Gobierno de México*. Obtenido de La producción de azúcar comienza en el ingenio: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/la-produccion-de-azucar-comienza-en-el-ingenio?idiom=es>

Secretaría de Economía. (febrero de 2012). *Economía*. Obtenido de Análisis de la situación económica, tecnológica y de política comercial del sector edulcorantes en México: https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/Analisis_Sectorial_Mercado_Edulcorantes.pdf

Secretaría de Gobernación. (2 de mayo de 2014). *Diario Oficial de la Federación*.
Obtenido de Programa Nacional de la Agroindustria de la Caña de Azúcar:
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5343244&fecha=02/05/2014

Secretaría de Gobernación. (23 de noviembre de 2018). *Diario Oficial de la Federación*. Obtenido de NORMA Oficial Mexicana NOM-036-1-STPS-2018, Factores de riesgo ergonómico en el Trabajo-Identificación, análisis, prevención y control. Parte 1: Manejo manual de cargas.:
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5544579&fecha=23/11/2018

Tanimoto, S. L. (1987). *The Elements of Artificial Intelligence: An Introduction Using Lisp*. Retrieved from
<http://www.computer.org/csdl/mags/co/1988/04/r4143.pdf>

Urquía Moraleda, A. (2013). *Modelado y simulación de eventos discretos*. México: UNED- Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Wesseling, C., Crowe, J., Peraza, S., Aragón, A., & Partanen, T. (12 de noviembre de 2018). *O/SS*. Obtenido de Trabajadores de la caña de azúcar:
<https://oiss.org/wp-content/uploads/2018/11/12-6-Cana.pdf>