

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Industrial

Diseño y validación de un modelo de optimización considerando indicadores de sustentabilidad del Proyecto Suma en MIPYMES textiles

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autores:

Dennis Paúl Hernández Saquicela

Melina Tatiana Sarmiento Contreras

Director:

Diana Carolina Jadán Avilés

ORCID: 0000-0002-7264-5188

Cuenca, Ecuador

2023 – 03 – 07

Resumen

Las MiPymes en Latino América y Ecuador son las principales generadoras de ingresos y empleo, además de distinguirse por tener una gran representación de fuerza de trabajo en sus procesos productivos. A pesar de ello, la industria textil en el Ecuador posee altos niveles de estancamiento. El problema de investigación surge a partir de la falta de integración de conceptos de sustentabilidad y optimización en los procesos críticos, fundamentales para el desarrollo de una empresa. El principal objetivo de este trabajo de titulación es diseñar y validar un modelo de optimización multiobjetivo integrando conceptos de sustentabilidad con el fin de que otras MIPYMES del sector textil puedan replicar el modelo. La metodología del estudio parte de la revisión de la literatura a través del método de Fink. Después, se seleccionaron los procesos críticos mediante la aplicación de la Matriz Quality Function Development y la Cadena de valor de Porter, seguidamente se seleccionó un set global de un conjunto de 211 indicadores establecidos en el proyecto SUMA a través de las metodologías de PCA y AHP. Luego, se integraron los indicadores a partir de Sustainability Balanced Scorecard para así diseñar el modelo de optimización multiobjetivo, el cual determina la cantidad de unidades a producir a partir del uso de energías alternativas. Finalmente se validó el modelo mediante el uso del método de Análisis de escenarios en el software GAMS, el cual permitirá comprobar la robustez del mismo, y se presentará los resultados obtenidos en los escenarios propuestos.

Palabras clave: energía fotovoltaica, indicadores de gestión, miPymes textiles, modelo de optimización multiobjetivo, sustentabilidad

Abstract

MiPymes in Latin America and Ecuador are the main generators of income and employment, in addition to being distinguished by having a large representation of the workforce in its production processes. Despite this, the textile industry in Ecuador has high levels of stagnation. The research problem arises from the lack of integration of sustainability and optimization concepts in critical processes, which ones are fundamental for the development of a company. The main objective of this degree work is to design and validate a multi-objective optimization model integrating sustainability concepts to replicate it in other textile enterprises. The study methodology began in the literature review through Fink method. After, the critical processes were defined and selected through Quality Function Development matrix and Porter value chain. Next, a global set was selected from a set of 211 indicators established in SUMA project through methodologies like PCA and AHP. Later, the indicators were integrated from Sustainability Balanced Scorecard methodology to design the multiobjective optimization model based on sustainability indicators, the same one that decided the number of units to be produced from the use of alternative energies. Finally, the model was validated in two study cases by using analytic sceneries methodology in GAMS software which allowed verifying its robustness to present the obtained results.

Keywords: photovoltaic energy, management indicators, textiles mipymes, multi-objective optimization model, sustainability

Índice

1. Introducción	12
1.1. Antecedentes	12
1.2. Planteamiento del problema y justificación	13
1.3. Hipótesis	15
1.4. Objetivos	15
1.4.1. General.....	15
1.4.2. Específicos	15
1.5. Alcance y Limitaciones	15
2. Capítulo I: Estado del arte.....	17
2.1. Industria textil	17
2.2. Sostenibilidad	17
2.3. Modelo de optimización multiobjetivo.....	17
2.4. Fink	18
2.5. Quality Function Deployment (QFD)	18
2.6. Análisis de componentes principales (PCA)	19
2.7. Análisis Jerárquico (AHP)	19
2.8. Sustainability Balanced Score Card	19
2.9. Huella de carbono	20
2.10. Accidentabilidad.....	20
2.11. General Algebraic Modeling System (Gams).....	21
2.12. Método de optimización multiobjetivo E-Constrain	21
2.13. Análisis de escenarios	21
3. Capítulo II: Metodología	22
Framework.....	22
3.1. Selección de los procesos críticos.....	23
3.1.1. Matriz de ponderación	26
3.1.2. Matriz Quality Function Development (QFD)	27
3.1.3. Análisis Jerárquico caso estudio A	28
3.1.4. Análisis Componentes Principales Caso Estudio B.....	32
3.2. Contrastación y obtención del set de indicadores.....	36
3.3. Integración de indicadores	36

3.3.1.	Balanced Score Card.....	36
4.	Capítulo III: Desarrollo del modelo.....	39
4.1.	Formulación matemática.....	39
4.2.	Formulación del modelo económico.....	40
4.3.	Formulación del modelo ambiental.....	41
4.4.	Formulación del modelo social.....	42
4.5.	Caracterización de variables.....	42
4.5.1.	Metros de materia prima utilizados por unidad.....	42
4.5.2.	Cantidad de residuos por unidad.....	44
4.5.3.	Peso por unidad.....	45
4.5.4.	Horas de producción por unidad.....	46
4.5.5.	Costo de producción.....	49
4.5.6.	Consumo total de electricidad por subproceso.....	52
4.5.7.	Capacidad de captación de energía de los paneles solares.....	54
4.5.8.	Metros de materia prima disponibles por modelo.....	60
4.5.9.	Demanda por modelo.....	61
4.5.10.	Factores de conversión.....	62
4.5.11.	Índice de accidentabilidad.....	62
4.5.12.	Factor de penalización por no utilizar equipo de protección personal.....	64
5.	Capítulo IV: Resultados y discusión.....	65
5.1.	Resultados de la empresa caso de estudio A.....	65
5.1.1.	Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica.....	65
5.1.2.	Resultados con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica.....	66
5.1.3.	Resultados amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica.....	68
5.2.	Resultados de la empresa caso de estudio B.....	70
5.2.1.	Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica.....	70
5.2.2.	Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica.....	71
5.2.3.	Resultados del modelo una vez amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica.....	73
5.3.	Fases de decisión del modelo.....	73
6.	Conclusiones y propuestas de trabajos futuros.....	75

7. Referencias	77
8. Anexos	81
8.1. Ecuación para el cálculo de paneles.....	81
8.2. Código para la ejecución del modelo – Energía hidráulica.....	81
8.3. Código para la ejecución del modelo – Energía fotovoltaica.....	83
9. Repositorio.....	84

Índice de figuras

Figura 1 Esquema metodológico.....	22
Figura 2 Clasificación de procesos Caso de Estudio A.	24
Figura 3 Clasificación de procesos Caso de Estudio B	25
Figura 4 Integración de indicadores - Sustainable Balanced Scored Card.....	37
Figura 5 Componentes de un sistema solar fotovoltaico.	55

Índice de tablas

Tabla 1	Análisis del estado de resultados Caso de estudio A.....	25
Tabla 2	Resultados de matriz de ponderación aplicabilidad de indicadores	27
Tabla 3	Resultados de análisis Quality Function Development Caso Estudio A	27
Tabla 4	Resultados de análisis Quality Function Development Caso Estudio.....	28
Tabla 5	Agrupamiento de indicadores por categoría y área.....	28
Tabla 6	Criterios de priorización para el desarrollo de AHP.....	30
Tabla 7	Matriz de comparación con base en el primer criterio de priorización.	30
Tabla 8	Resultados de la matriz AHP - área Social	31
Tabla 9	Resultados de la matriz AHP - área Ambiental	32
Tabla 10	KMO y prueba de Bartlett – Análisis área ambiental	33
Tabla 11	Varianza Total explicada – Análisis área ambiental	33
Tabla 12	Matriz de componentes rotados – Análisis área ambiental	34
Tabla 13	KMO y prueba de Bartlett - Análisis área social	35
Tabla 14	Varianza Total explicada – Análisis área social	35
Tabla 15	Matriz de componentes rotados – Análisis área social.....	35
Tabla 16	Metros de materia prima utilizados por unidad de modelo Joel.....	43
Tabla 17	Metros de materia prima utilizados por unidad de modelo Ben	43
Tabla 18	Metros de materia prima utilizados por unidad de modelo cojín básico.....	43
Tabla 19	Metros de materia prima utilizados por unidad de modelo cojín silla.....	43
Tabla 20	Cantidad de desperdicio por unidad de modelo Joel.....	44
Tabla 21	Cantidad de desperdicio por unidad de modelo Ben.....	44
Tabla 22	Cantidad de desperdicio por unidad de modelo Cojín básico / Ladrillo	44
Tabla 23	Cantidad de desperdicio por unidad de modelo Cojín silla / Lino	45
Tabla 24	Peso total por unidad de modelo Joel.....	45
Tabla 25	Peso total por unidad de modelo Ben	45
Tabla 26	Peso total por unidad de Cojín Básico / Ladrillo	46
Tabla 27	Peso total por unidad de Cojín Silla / Lino	46
Tabla 28	Horas de producción por unidad de modelo Joel en el proceso de confección .	46
Tabla 29	Horas de producción por unidad de modelo Joel en el proceso de confección .	47
Tabla 30	Horas de producción por unidad de Cojín básico en el proceso de acabados ..	48
Tabla 31	Horas de producción por unidad de Cojín silla en el proceso de acabados	48
Tabla 32	Costo de producción Pijama Joel.....	49
Tabla 33	Costo de producción pijamas Joel con generación de energía amortizado	50
Tabla 34	Costo de producción Pijama Ben.....	50
Tabla 35	Costo de producción Ben equipo de generación de energía amortizado	50
Tabla 36	Costo de producción Cojín básico	51
Tabla 37	Costo de producción de cojín básico generación de energía amortizado.....	51
Tabla 38	Costo de producción Cojín silla.....	51
Tabla 39	Costo de producción de cojón silla con generación de energía amortizado	52
Tabla 40	Consumo de electricidad por máquina, pijama Joel.....	52
Tabla 41	Consumo de electricidad por máquina, pijama Ben	53
Tabla 42	Consumo de electricidad por máquina, Cojín básico	53

Tabla 43 Consumo de electricidad por máquina, Cojín silla.....	54
Tabla 44 Consumo eléctrico pijamas Joel	55
Tabla 45 Consumo eléctrico pijamas Ben.....	55
Tabla 46 Consumo eléctrico Cojín básico.....	56
Tabla 47 Consumo eléctrico Cojín Silla	56
Tabla 48 Datos para el cálculo del equipo de generación de energía Pijama Joel.....	57
Tabla 49 Datos para el cálculo del equipo de generación de energía Pijama Ben.....	57
Tabla 50 Datos para el cálculo del equipo de generación de energía Cojín básico	57
Tabla 51 Datos para el cálculo del equipo de generación de energía Cojín silla.....	58
Tabla 52 Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 100% Joel y Ben	58
Tabla 53 Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 50% Joel y Ben	59
Tabla 54 Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 100%	59
Tabla 55 Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 50%	59
Tabla 56 Metros de materia prima disponibles para modelo Joel	60
Tabla 57 Metros de materia prima disponibles para modelo Ben.....	60
Tabla 58 Metros de materia prima disponibles para Cojín Básico / Ladrillo	61
Tabla 59 Metros de materia prima disponibles para Cojín Silla / Lino.....	61
Tabla 60 Índice de accidentabilidad dentro de las MiPymes textiles en Ecuador.....	63
Tabla 61 Factor de penalización por no utilizar equipo de protección personal	64
Tabla 62 Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica	65
Tabla 63 Resultados del modelo con energía hidráulica y fotovoltaica al 100%	66
Tabla 64 Resultados del modelo con energía hidráulica y fotovoltaica al 50%	67
Tabla 65 Resultados del modelo considerando el uso de equipos de protección personal con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 50% y 100%	68
Tabla 66 Resultados del modelo una vez amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica considerando el uso de equipos de protección personal con utilización de energía fotovoltaica al 100%.....	69
Tabla 67 Resultados del modelo una vez amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica considerando el uso de equipos de protección personal con utilización de energía fotovoltaica al 50%.....	69
Tabla 68 Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica	70
Tabla 69 Resultados con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 100%	71
Tabla 70 Resultados con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 50%	71
Tabla 71 Resultados del modelo considerando el uso de equipos de protección personal con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 100%.....	72
Tabla 72 Resultados del modelo una vez amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica al 100%.....	73

Agradecimiento

A los miembros del proyecto SUMA, a la Dra. Lorena Sigüenza, directora del proyecto, a sus integrantes Dr. Pablo Flores y Mgst. Fabiola Reino quienes me guiaron y brindaron su valioso conocimiento en el desarrollo del trabajo de titulación, muchas gracias son los mejores.

A mis tutores, Mgst. Rodrigo Guaman y Mgst. Diana Jadán por compartir su valioso conocimiento a lo largo de la carrera y en el desarrollo del trabajo de titulación.

A quien en vida fue mi padre y abuelo Manuel Jesús por enseñarme desde pequeño principios y valores que me han ayudado a crecer como profesional y persona.

A mi abuela Piedad por tus sabios consejos y por ser mi segunda madre y compañera de vida durante estos últimos años.

A mis padres Mónica y Henry por ser un apoyo fundamental y mi gran fuente de inspiración dentro de este proceso, los amo con mi vida.

A mis hermanos Christian y Lorena por ser un gran ejemplo y la fuente de mi felicidad durante muchos años.

A grandes personas como Andrés Garate, José Ochoa, Bryan Maldonado, Juan Jara, Kevin Jara, Juan Parra, Sebastián Peñaloza, Paula Lanchimba, Melina Sarmiento y Andrea Sangacha por su ayuda y sabios consejos cuando más los necesite.

Dennis Paúl Hernández Saquicela

Agradecimiento

A Dios, por ser la mayor fortaleza en este camino para alcanzar mis objetivos.

Al grupo Industrial Management and Innovation Research (IMAGINE) y los integrantes del proyecto Incorporating sustainability concepts to management models of textile Micro, Small and Medium Enterprises (SUMA), en especial al Dr. Pablo Flores, Ing. Erick Sigcha y Mgst. Fabiola Reino, por su gran interés en el proyecto y apoyo constante desde el inicio del desarrollo de este trabajo de titulación.

A mis tutores Mgst. Diana Jadán y Mgst. Rodrigo Guamán, por su compromiso, enseñanzas y compartir su experiencia en el desarrollo de este trabajo de titulación.

A mis padres Hugo y Mayta por brindarme su apoyo, humildad y amor durante toda mi vida.

A mis hermanos Noelia, Katy, Manoli, Huguito por estar siempre conmigo, son lo más importante en mi vida.

A mi familia en general, en especial a mi abuelita por su cariño constante.

A mi compañero y amigo Paúl Hernández por todos estos años compartidos.

A Damián Ochoa, por creer en mí, su apoyo incondicional y motivación durante estos años.

A mi jefa, Ing. Jessica Cevallos, por sus consejos, preocupación y apoyo en el término de mi carrera universitaria y nueva etapa de mi vida.

Melina Tatiana Sarmiento Contreras

1. Introducción

1.1. Antecedentes

Alrededor del mundo el 75% de las MIPYMES que se crean cada año, no alcanzan a mantenerse dos años en el mercado, debido a que llegan a su etapa final del ciclo de vida de la empresa (Pineda Villegas, 2020). La contribución cuantitativa de las MIPYMES en las economías nacionales, desempeña un papel importante en el constante aumento de la tasa de empleo (Saavedra & Hernández, 2012). En América Latina existen alrededor de 716.000 pequeñas empresas y 145.000 medianas empresas, razón por la que las MIPYMES generan el 64,26% de empleo en este sector (Pineda Villegas, 2020).

En Ecuador el porcentaje de MIPYMES representa el 99% de empresas, las cuales generan el 27.7% de ventas nacionales y el 60.4% de empleo (INEC, 2019). En el país existen 233.809 MIPYMES, de las cuáles el 25% son microempresas, 31% empresas pequeñas y 44% empresas medianas (Sarango-Lalangui et al., 2017). Dentro de esta categoría de empresas, la industria textil se distingue por tener una gran representación de fuerza de trabajo en sus procesos productivos. En Ecuador, la industria textil es la segunda industria con más empleados, la misma que se enlaza a 33 ramas productivas del país. Además, es la tercera industria más grande en el sector manufacturero, el cual representa más del 11,83% del PIB ecuatoriano (Urco et al., 2019). Según el informe emitido por Sosa y Angulo (2012) existen 47043 MIPYMES textiles en Ecuador, de las cuales el 27% se encuentran en Pichincha, 17% en el Guayas, 8.1% en Tungurahua, 7.5% en el Azuay, 4.5% en Imbabura y el resto de empresas se encuentran distribuidas en las diferentes provincias del país.

A pesar de que la industria textil en el Ecuador es una de principales fuentes de empleo, posee altos niveles de estancamiento, debido a diversos factores en torno a problemas económicos, sociales y ambientales los cuales son pilares esenciales del concepto de sustentabilidad, ya que fundamentan el desarrollo humano para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones (Ordóñez, 2015). Es importante señalar que aproximadamente el 49% de MIPYMES en Ecuador aún no consideran aspectos de sustentabilidad dentro de sus modelos de negocio, factor que junto al bajo índice de ventas han influido de forma significativa en esta época de pandemia para que la mano de obra disminuya en un 0.8% en el periodo de diciembre del 2020 a enero del 2021 (INEC, 2021). Además, Durante los años 2007 hasta el 2017, se cerraron

alrededor de 700 empresas, al presentar problemas de liquidez, se declararon en quiebra, y el desempleo aumentó un 1.5%" (Pineda Villegas, 2020).

Así mismo, en el contexto de esta pandemia en Ecuador, se pronosticó la caída del PIB en un 6,5% lo que produjo una estimación del incremento de la tasa de desempleo alrededor de 508.000 personas, mientras que 233.000 trabajaron de manera informal (Caribe, 2020). Según el estudio de (Farfán Castro, 2021) señala 3.821 casos de denuncias por irregularidades en el cese de los contratos, despidos intempestivos durante esta situación en el Ecuador. donde el mayor impacto fue en las provincias de Guayas con el 9,7%, Azuay con el 7,1 % y Tungurahua con el 7,2%. Esto se puede atribuir a que las MIPYMES históricamente presentan limitaciones con la disponibilidad de materia prima e insumos, falta de continuidad en la cadena de suministro, debilidades en cuanto a la falta de información, apoyo técnico, capacitación, acceso a crédito, entre otros que afectan a la sustentabilidad de la empresa (Useche et al., 2021).

1.2. Planteamiento del problema y justificación

Según Mena (2020) en el 2013 el sector textil registró 978,33 mil millones de dólares en ventas mientras que en el 2014 el valor ascendió a 1002,11 millones. Sin embargo, el volumen de ventas disminuyó el 11,6% en el 2015. De igual manera en el 2016 las ventas disminuyeron en 14,4% lo que produjo una caída en ventas de 81,5 millones de dólares. Para el 2019 las ventas del sector textil disminuyeron en 23% lo que representa en total de 73 millones de dólares.

Como consecuencia las MIPYMES se han visto económica y socialmente afectadas, ya que en el año 2019 los ingresos registrados en las MIPYMES textiles de Tungurahua y Azuay fueron de 116 y 35 millones de dólares respectivamente. Sin embargo, durante la emergencia sanitaria sus ventas decrecieron un 48 y 37% (CEDIA, 2021).

Por otro lado, los problemas sociales pueden afectar la imagen de una empresa, así como su economía. En el estudio realizado por (Pineda Villegas, 2020) se evidencia que solo el 10% de las personas que trabajan en esta industria tienen la preparación académica necesaria para poder dirigir un negocio, es decir que el 90% realiza la mayor parte de sus actividades de manera empírica. Además, de acuerdo al nivel de escolaridad, el 40% de los dueños de las empresas escasamente consiguieron cursar estudios primarios y el 60% no concluyeron estudios secundarios, por lo que esta industria presenta un alto grado de desconocimiento en el manejo financiero (Pineda Villegas, 2020).

Hoy en día el agotamiento de recursos naturales, la búsqueda de nuevas estrategias para obtener ventaja competitiva y la constante presión de los consumidores y gobiernos sobre

las empresas para minimizar el índice de impacto ambiental de sus productos y procesos productivos, han generado un mayor interés en el desarrollo sostenible (Brandenburg, Govindan, Sarkis, & Seuring, 2014). Debido a la complejidad e inversión económica que esto genera a las MIPYMES, les resulta complicado la adaptación de iniciativas sustentables para liderar problemas ambientales como la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos en la compra, fabricación, almacenamiento, transporte así como el consumo de agua, energía y generación de desechos, que pueden transformarse en un costo de emisión adicional (Pishvae et al., 2012).

Con base en lo anteriormente expuesto es fundamental insertar el concepto de sustentabilidad en las MIPYMES textiles de la industria ecuatoriana, iniciativa llevada a cabo por el proyecto “Incorporating sustainability concepts to management models of textile Micro, Small and Medium Enterprises (SUMA)”, el mismo que desarrolla un modelo de gestión que se enfoca en los tres pilares de sustentabilidad, al simular costos y sus impactos a partir de indicadores ambientales y sociales, con el fin de reactivar la productividad de las MIPYMES. Por este motivo, una de las actividades del proyecto SUMA se enfocó en elaborar y validar indicadores económicos, ambientales y sociales que permitan evaluar el desempeño sustentable de las MIPYMES (Sigüenza, 2020).

Según ASLE y RAE (2021) el concepto de optimizar es la forma de realizar una actividad de mejor manera . Entonces, un modelo de optimización ayuda a evaluar la interacción entre los objetivos de manera que sugiera una configuración óptima para minimizar el impacto económico, social y ambiental. Las técnicas de optimización son utilizadas como herramientas eficaces para evaluar el impacto de la toma de decisiones (Varsei et al., 2014).

Por lo tanto, en el desarrollo de esta investigación se va a integrar los indicadores del proyecto “SUMA” en un modelo de optimización multiobjetivo que permita a las MIPYMES conocer los beneficios que representa aplicar un modelo de gestión sustentable en sus operaciones. Cabe recalcar que el proyecto tiene una trayectoria de dos años por lo que se han generado cerca de 211 indicadores, los cuales se evaluarán de forma individual para cada caso de estudio. Este modelo de optimización permitirá realizar comparaciones entre los indicadores de los tres pilares de la sustentabilidad, de manera que permita a las MIPYMES tener una herramienta de análisis de decisiones sobre los beneficios y costos que les representa al aplicar conceptos de sustentabilidad.

1.3. Hipótesis

- ✓ El diseño de un modelo de optimización multiobjetivo para las MIPYMES del sector textil del Austro Ecuatoriano permite mejorar los niveles de sustentabilidad a partir del análisis de indicadores establecidos en el proyecto SUMA.
- ✓ La selección de los diferentes procesos con mayores dificultades en la producción de las MIPYMES textiles permite una mejor integración de los indicadores fijados en el proyecto SUMA, y genera una mayor solidez para el modelo matemático.
- ✓ La integración de variables que afecten directamente a los diferentes procesos críticos en el modelo de optimización genera mayor grado de certidumbre en la predicción de resultados claves para la sustentabilidad de la empresa.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

- ✓ Diseñar y validar un modelo de optimización multiobjetivo basado en indicadores de sustentabilidad determinados en el proyecto “Incorporating sustainability concepts to management models of textile Micro, Small and Medium Enterprises (SUMA)”, considerando aspectos económicos, sociales y ambientales para mejorar sus niveles de desempeño dentro de las MIPYMES textiles del Austro ecuatoriano.

1.4.2. Específicos

- ✓ Identificar y seleccionar procesos críticos de las MIPYMES casos de estudio e indicadores preestablecidos del proyecto “Incorporating sustainability concepts to management models of textile Micro, Small and Medium Enterprises (SUMA)”, utilizando herramientas de análisis cualitativo y cuantitativo con el fin de integrarlos mediante un Sustainability Balanced Scorecard.
- ✓ Diseñar un modelo de optimización multiobjetivo con base en las variables, parámetros y resultados obtenidos en el Sustainability Balanced Scorecard, que aporte al desarrollo económico, social y ambiental de las MIPYMES en la industria textil.
- ✓ Contextualizar y validar el modelo de optimización desarrollado en las MIPYMES casos de estudio mediante el análisis de escenarios con el fin de conseguir una mayor robustez.

1.5. Alcance y Limitaciones

El área en donde se va a desarrollar el modelo y se ajusten la mayor cantidad de indicadores se va a determinar mediante el análisis de la cadena de valor de Porter del caso de estudio A.

El modelo de optimización se va evaluar en los productos más representativos para la empresa caso de estudio A y B, donde para el caso A se evalúa los pijamas Ben y Joel, en cuanto al caso B se evalúa el cojín básico y de silla. Es importante mencionar que el modelo es genérico.

2. Capítulo I: Estado del arte

2.1. Industria textil

Según Benites, Ruff, Gutiérrez, Inca & Juica (2020) señalaron que los niveles de competitividad de los países de Latinoamérica se encuentran en un proceso de desarrollo lento, ya que tienen dificultades de integración de conceptos básicos de los pilares fundamentales de competitividad y de la generación de un impacto positivo en la productividad.

A lo largo de los años la industria textil ecuatoriana se ha destacado por ser una actividad manufacturera de gran relevancia económica para el país. Su importante aporte económico al Producto Interno Bruto (PIB) y la generación de empleo. Sin embargo, en el último tiempo ha presentado un notable declive debido a diversos factores económicos, sociales y ambientales que han impedido alcanzar una cierta sostenibilidad que le permitan mantenerse siendo rentables en el mercado (Clavijo & Espinoza, 2022).

2.2. Sostenibilidad

Según Hernández & Altamirano (2020) una empresa es sostenible cuando define relaciones que beneficien a la empresa como a los trabajadores a lo largo del tiempo, siendo capaz de buscar oportunidades de cambio y transiciones constantemente desde los negocios hasta la forma de desarrollarnos y crecer en medio de la competencia, asegurando su continuidad y posicionamiento.

Carro, Reyes, Rosano, Garnica y Pérez (2017) señalaron que varias empresas no aplican el concepto de sustentabilidad por falta de conocimiento en el tema y por el dilema existente entre ser sustentables o rentables.

El estudio realizado por Luna, Sarmiento, Calle & Ramón (2021) en torno a las MIPYMES textiles de la ciudad de Cuenca parte de la investigación de problemas como la reducción de la producción y venta de sus productos generado por la crisis sanitaria con el fin de lograr una producción y comercialización eficiente. Actualmente este sector se caracteriza por su complejidad debido a la alta incertidumbre y la dificultad para adaptarse al cambio en un contexto de crisis económica. Debido a esto, el estudio propone el diseño de un modelo de sustentabilidad enfocado en la mejora desde la producción hasta las ventas con el fin de conseguir una estabilidad a nivel organizacional, proceso que se utiliza para alcanzar el máximo nivel de excelencia posible de una manera progresiva y constante.

2.3. Modelo de optimización multiobjetivo

El diseño de un modelo de optimización enfocado en la sustentabilidad considerando aspectos económicos, sociales y ambientales de las MiPymes textiles, es fundamental para

la mejora de los diferentes procesos productivos y la estabilidad organizacional de las empresas, es por ello que se inicia la búsqueda literaria sobre las temáticas que se han trabajado en las MiPymes textiles donde:

En el estudio de Daza, Galvis, Mesa & Rojas (2015) se desarrolló un algoritmo evolutivo multiobjetivo para la demanda de internet a través del enfoque de optimización IoT. Este estudio se enfocó en examinar el uso de drones como endpoints, con el fin de que los mismos se conecten a la red para obtener una mayor cobertura y mejorar el sistema. El desarrollo de esta problemática se llevó a cabo mediante la elaboración de un modelo matemático que simule escenarios y el uso de algoritmos evolutivos multiobjetivo con el fin de contrastar los resultados y verifica la eficacia del modelo.

Gagliardo y Corsano (2011) desarrollaron un modelo de optimización mixto entero lineal para el diseño de una cadena de suministro que se dedica a la producción de azúcar y etanol. La investigación se centró en incorporar factores de sustentabilidad como el impacto ambiental mediante los principios del análisis de ciclo de vida, lo que llevó a formular un problema de optimización multiobjetivo, donde el principal objetivo es minimizar el factor económico mediante la estructuración de restricciones ambientales con el método “constrain” que permite evaluar múltiples escenarios.

En el estudio realizado por Trifan (2015) se construyó un modelo para una estructura de surtido de confecciones textiles, con el objetivo de crear un sistema de información flexible, preciso y eficiente, además de garantizar mediante el uso de modelos matemáticos determinísticos con múltiples funciones objetivo la creación propia de diferentes gamas de surtidos con base en los requisitos constantes del mercado y de sus propias capacidades. Esto posibilita la opción de contar con un análisis operativo de la eficiencia realizada, siendo este modelo un instrumento para la investigación y previsión constante, además que determina la elección de la alternativa óptima de un conjunto finito de alternativas comparadas entre sí en relación a varios criterios.

2.4. Fink

Según Cevallos (2020) esta metodología es utilizada para la revisión sistemática de literatura con el fin de obtener información, realizar preguntas de investigación, seleccionar bases de datos, seleccionar palabras clave, establecer criterios de inclusión y exclusión de resultados para ser analizados y escoger la información respecto al tema investigado.

2.5. Quality Function Deployment (QFD)

La matriz Quality Function Development es aplicada con el fin de optimizar procesos y mejorar la calidad de productos con base en el grado de satisfacción del cliente. La matriz

se encarga de captar las necesidades del cliente para después generar especificaciones técnicas y tomar acciones en los procesos que realiza la empresa con el fin de optimizarlos Villacís (2019).

2.6. Análisis de componentes principales (PCA)

El análisis de componentes principales (PCA), es una técnica estadística que permite valorar diferentes parámetros cualitativos como cuantitativos. Este método se aplica con el fin de reducir la dimensionalidad de un espacio original establecido a partir de datos históricos de las diferentes variables medidas del proceso mediante su proyección a un espacio de menor dimensionalidad, a través de la búsqueda de combinaciones lineales de las variables que describan de mejor manera la tendencia del proceso, explicando las principales causas de variabilidad de la información analizada García (2011).

2.7. Análisis Jerárquico (AHP)

Según Mejía (2017), la finalidad de esta metodología se centra en crear una convergencia de personas con experiencia considerados expertos, con diferente formación y/o jerarquía con el fin de obtener un consenso frente a una temática o problemática en común y mediante la construcción de un modelo jerárquico, que permita de una manera eficiente y gráfica, organizar la información respecto de un problema de decisión.

2.8. Sustainability Balanced Score Card

Las teorías del Balanced ScoreCard se desarrollan con base en el planeamiento y control donde se hace un estudio de la situación actual interna de la empresa, participación en el mercado, factores críticos del entorno y factores críticos de éxito, teniendo como preámbulo una matriz para determinar los objetivos y las estrategias, y así posteriormente diseñar el Cuadro de Mando Integral que define los indicadores en cada aspecto del BSC así como su respectiva estrategia para cumplir con las metas propuestas inicialmente Mendoza (2016).

El uso del Sustainability Balanced Scorecard (SBSC) como herramienta de gestión de la sostenibilidad empresarial tiene el fin de mejorar la competitividad de una pyme. Iniciando en el análisis de las estrategias actuales del negocio y tratando de reestructurarla para lograr una vinculación a la gestión de la sostenibilidad empresarial, mediante una metodología de investigación aplicada, ya que así ayuda a traducir la sostenibilidad de una empresa en acciones. Por lo tanto, la sostenibilidad representa una alternativa para crear un diferenciador hacia la competencia. Posteriormente, se determina la importancia de los factores ambientales, económicos y sociales para el planteamiento de cada objetivo estratégico y la derivación del mapa estratégico. Finalmente, se plantea las medidas de

acción e indicadores de gestión, incorporando iniciativas de manera gradual que evidencie una mejora en el desempeño Palacios (2021).

2.9. Huella de carbono

Según García (García Gómez, 2020) la huella de carbono es un indicador utilizado para medir la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) que son emitidos a la atmósfera por un evento, empresa, producto o individuo. Además del CO₂ también influyen otros gases potencialmente nocivos en dichas emisiones, pero a diferente escala. Para ello se han establecido coeficientes que permiten generar una equivalencia entre los diferentes gases. Se forman según el índice GWP (Global Warming Potential), el cual mide el calor que puede ser absorbido por cada gas comparándolo con otro. Comúnmente se utiliza como gas de referencia al CO₂, y se obtiene el valor de 1. Por ejemplo, para el cálculo de la huella de carbono de un producto, se desarrolla un análisis del ciclo de vida de este, donde abarca los diferentes procesos y etapas, desde la extracción y obtención de las materias primas, uso por parte del consumidor, hasta el desecho, atravesando por todas las fases de producción y transporte.

Es de suma importancia considerar este indicador ya que el modelo económico lineal que actualmente sigue la industria textil es el causante de la generación de una gran cantidad de gases de efecto invernadero, debido a varios factores entre los cuales se destaca el consumo intensivo de agua, contaminación de los efluentes, entre otros (García Gómez, 2020).

2.10. Accidentabilidad

Este término está estrechamente ligado a la rentabilidad si se relaciona directamente a los costos generados por los días perdidos por el trabajador de las MIPYMES del sector textil, por ejemplo, en este caso de la provincia de Tungurahua, donde se realizó un estudio considerando los sucesos imprevistos e inesperados que causan daño al trabajador, es decir la accidentabilidad y proporcionalmente relacionado a la disminución de la rentabilidad. Se aplicó al personal de Talento Humano y a los responsables de Seguridad Laboral de las diferentes empresas mediante una encuesta estructurada validada previamente por docentes de la Universidad Técnica de Ambato. Para muestra de esto se muestran los resultados más relevantes donde se obtuvo que el costo de accidentabilidad laboral de las empresas en estudio referido al año 2019 asciende a un valor de \$4641.20 de un total de 283 días perdidos por el trabajador, valor que sin duda repercute en la disminución de la rentabilidad de las empresas textiles (Durán et al., 2021).

2.11. General Algebraic Modeling System (Gams)

GAMS es un software de optimización que cuenta con un paquete informático robusto de alta capacidad de procesamiento de problemas con un número significativo de variables y restricciones. Generalmente se aplica para diferentes áreas de sectores industriales, de igual manera para las plantas de producción divididas en macro procesos y que necesitan subcontratar procesos especializados de manufactura (Campo et al., 2020).

Un claro ejemplo se desarrolla en el estudio realizado por Campo, Cano, & Gómez (2020) donde se propone un Modelo de optimización de costos de producción agregada en empresas del sector textil, el cual es programado y ejecutado en GAMS, donde se busca generar estrategias de capacidad de producción con el fin de mejorar el proceso productivo y la optimización del plan de producción.

2.12. Método de optimización multiobjetivo E-Constrain

Según Mavrotas (2012) este método de optimización consiste en optimizar una de las funciones objetivo planteada en un determinado modelo usando otra función objetivo como restricción. Se aplica a la región factible original y da como resultado una solución extrema, generando así soluciones extremas eficientes. Una ventaja importante es que se puede controlar el número de soluciones eficientes generadas, ajustando adecuadamente el número de puntos de la cuadrícula en cada uno de los rangos de la función objetivo.

2.13. Análisis de escenarios

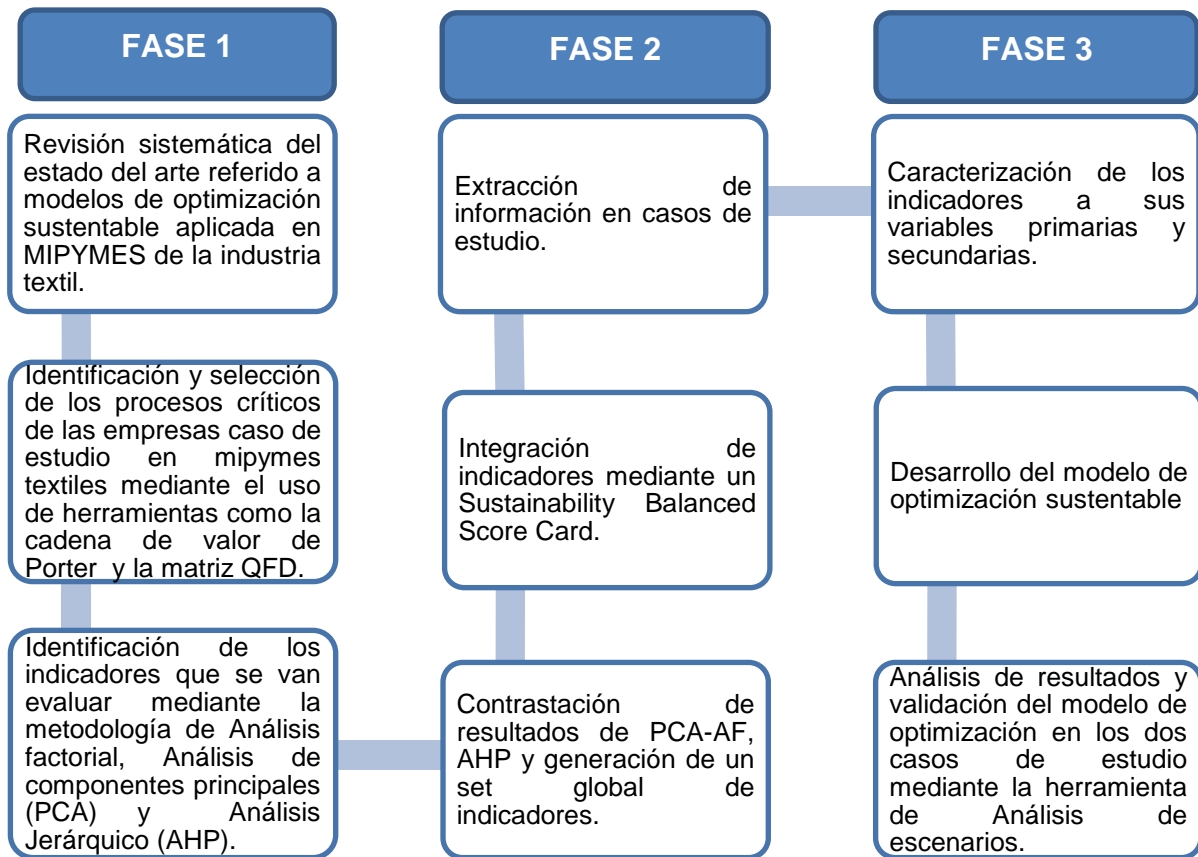
Técnica analítica estructurada complementaria a métodos cuantitativos y cualitativos Se considera como instrumento de apoyo a la planificación estratégica, y contribuye a la construcción de escenarios con diferentes y posibles resultados de variables causales de gran importancia en combinaciones esperadas e inesperadas con el fin de obtener múltiples situaciones futuras, es decir intentos de describir con cierto nivel de detalle una secuencia hipotética de hechos que puede conducir a una situación futura (Jordán, 2016).

3. Capítulo II: Metodología

El desarrollo del modelo de optimización sustentable que determina la cantidad de unidades a producir a partir del uso de energías alternativas, se plantea el siguiente esquema de actividades consecutivas (Figura 1), las cuales se encuentran divididas en 3 fases que comprende desde la revisión de la literatura hasta el diseño y validación del modelo.

Framework

Figura 1 Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia

Esta investigación inicialmente tiene un enfoque deductivo - inductivo, ya que parte de observaciones de los diferentes procesos de las MiPymes casos de estudio para la selección de los procesos críticos relacionados a los problemas económicos, ambientales y sociales.

Para la identificación y selección del set de indicadores que tienen mayor influencia en los procesos previamente seleccionados, se aplica un método de investigación empírico con

enfoque cualitativo – cuantitativo, que permite definir y evaluar los indicadores establecidos en el proyecto SUMA a través de la aplicación de las metodologías de Análisis de Principales componentes (PCA) y Análisis Jerárquico (AHP) para la comparación de resultados y selección de un set global de indicadores.

Se emplea el Sustainability Balanced ScoreCard con el fin de integrar los indicadores del set global previamente generado a partir de la extracción de información mediante el método de observación en los dos casos de estudio que permitan determinar las variables a ser evaluadas. Luego se procede a caracterizar los indicadores y finalmente obtener resultados para definir las funciones objetivo.

Con el fin de diseñar el modelo de optimización multiobjetivo se aplica un enfoque mixto (cualitativo - cuantitativo) que permite obtener datos para la posterior definición de variables. Una vez establecidas las variables y los indicadores con los métodos descritos se establece las funciones objetivo y restricciones del modelo de optimización de acuerdo a las empresas y normativas legales. Además, el establecimiento de las funciones objetivo del modelo de optimización se lleva a cabo a través de métodos empíricos ya que se desarrolla con el fin de adquirir datos numéricos, donde se comparan magnitudes medibles para el establecimiento de ecuaciones matemáticas para el posterior desarrollo del modelo. Finalmente, se valida el modelo al plantear escenarios, que determine la fiabilidad y robustez del mismo.

3.1. Selección de los procesos críticos

Una vez conocidos los subprocesos de las empresas caso de estudio (Apéndice 1 y 2), se clasificaron de acuerdo a las actividades primarias y actividades de apoyo establecidas en la Cadena de Valor de Porter, con el fin de seleccionar el área que aporte mayor valor agregado para el cliente en cada caso de estudio.

Figura 2 Clasificación de procesos Caso de Estudio A.

Infraestructura de la empresa	Control y pagos pendientes, Control y pago de roles, seguros y créditos, Control de cuentas por cobrar, Supervisión de servicios de manejo de redes sociales, Coordinar fechas de entrega, Manejo de listas de precios, Gestión de Cobros, Manejo de caja, Registro y cierre de caja, Revisión de calidad Planificación de SSO, Implementación de SSO, Verificación DE SSO, Gestión de accidentes.			
Gestión de Recursos Humanos	Contratación de personal, Atención a despidos del personal, Atención a renuncias del personal, Gestión permisos del personal			
Desarrollo de tecnología	Diseño de prototipos, Pedidos personalizados de clientes			
Abastecimiento	Gestión de stocks, Compras de MP e insumos, Compras de suministros de oficina, Compra de stock de repuestos, Solicitud de compras de MP, Abastecimiento de MP (a producción, confección, maquila)			
Logística Interna Recepción de Producto Terminado de talleres de servicios de maquila, bordado y sublimado. Recepción de Materia Prima e insumos entregados de proveedores	Operaciones Planificación de corte por lotes. Corte de lote. Confección de lote Terminados de lote.	Logística externa Logística de transporte. Logística con maquilado. Despacho de PT. Transporte de PT. Transporte de PT a maquilas. Recolección de PT desde maquilas. Almacenamiento de PT. Manejo de producción externa. Transporte de producto terminado.	Marketing y Ventas Entrega al cliente.	Servicios Gestión de quejas y reclamos. Capacitación Salud y Seguridad Ocupacional.

M
A
R
G
E
N

Fuente: Elaboración propia

Figura 3 Clasificación de procesos Caso de Estudio B

Infraestructura de la empresa					M A R G E N
Gestión de Recursos Humanos	Liquidación				
Desarrollo de tecnología	Levantamiento de procesos				
Abastecimiento	Planificación de la producción				
Logística Interna	Operaciones	Logística externa	Marketing y Ventas	Servicios	
Orden de producción	Planificación y corte	Entrega al cliente	Gira nacional de ventas		
Despacho de producto terminado	Confección	Transporte de producto terminado			
	Acabados				

Fuente: Elaboración propia

Para la selección del área a intervenir, se analizó el estado de resultados de la empresa Caso de estudio A (Apéndice 3) y se clasificó las cuentas que pertenecen a cada categoría, con el fin de determinar el área que más gastos y costos representa para la empresa. Es importante señalar que los resultados obtenidos de este análisis se replicaron para el caso de estudio B, considerando que pertenecen al mismo sector industrial y desarrollan actividades similares en sus procesos de producción.

Tabla 1 Análisis del estado de resultados Caso de estudio A

ÁREA / CATEGORÍA	CUENTAS	GASTOS Y COSTOS	PORCENTAJES
INFRAESTRUCTURA DE LA EMPRESA	Gastos Financieros, Otros gastos (Retenciones asumidas, Donaciones, Gastos Centavos, Utilidades Trabajadores, IVA que va al gasto, Depreciación Maquinaria Taller, Impuestos y contribuciones, Gastos de Gestión, Aportaciones Cámara, Depreciación Vehículos, Trámites Judiciales, Depreciación muebles y enseres, Depreciación Equipo de Oficina, Cuentas Incobrables, Arriendos, Alicuota Mall del Rio, Alicuotas C.C. Plaza Américas, Alicuota C.C. Batán)	\$ 105.558,05	11,99%

GESTION DE RECURSOS HUMANOS		\$ -	0,00%
DESARROLLO DE TECNOLOGIA	Capacitaciones y cursos	\$ 2.771,40	0,31%
ABASTECIMIENTO	Suministros de Fabricación, Materiales Indirectos, Flete y Transporte en Compras, Uniformes Planta, Combustibles, Repuestos y Lubricantes, Uniformes, Suministros de Impresión (Precios),	\$ 30.875,16	3,51%
LOGISTICA INTERNA	Monitoreo y Seguridad, Telefonía Fija, Telefonía Celular, Internet Oficinas Adm., Varios Servicios, Parqueadero, Mensajería	\$ 18.816,20	2,14%
OPERACIONES	Confecciones, Mano de Obra Directa, Ineficiencias	\$ 528.896,58	60,10%
LOGISTICA EXTERNA	Transporte de Mercadería, Flete y Transporte Ventas, Movilización y Estadía, Gastos de Viaje, Courier en Ventas, Viáticos Alimenticios, Gastos C.C. Plaza de las Américas, Adecuaciones C.C. Batán, Energía Eléctrica Mall, Internet Mall, Telefonía Fija Mall, Energía Eléctrica C.C. Batán, Internet C.C. Batán, Telefonía Fija C.C. Batán, Energía Eléctrica C.C. Plaza Américas, Internet C.C. Plaza Américas	\$ 33.774,09	3,84%
MARKETING Y VENTAS	Gastos Departamento de Ventas, Concesión y Mantenimiento Mall del Rio, Concesión y Mantenimiento Mall Batan	\$ 156.141,50	17,74%
SERVICIOS	Instalaciones Cortinas, Servicios prestados	\$ 3.223,98	0,37%
TOTAL		\$ 880.056,96	100%

Fuente: Elaboración propia

Con base en el análisis del estado de resultados se evidenció que las áreas más representativas son: Operaciones con el 60,10%, Marketing y Ventas con el 17.74 %, Infraestructura de la empresa con el 11,99 % y Logística Externa con el 3,84 % de los costos y gastos efectuados por la empresa.

3.1.1. Matriz de ponderación

Una vez identificadas las categorías más representativas se realizó la evaluación de 211 indicadores establecidos en el Proyecto SUMA mediante la matriz de ponderación (Apéndice 4), con el fin de conocer en qué área existe una mayor cantidad de aplicabilidad de indicadores. La evaluación se realizó en función del criterio de un panel de 5 expertos, donde 1 representa la aplicación y 0 representa la no aplicación del indicador en el área.

Tabla 2 Resultados de matriz de ponderación aplicabilidad de indicadores

	Logística externa	Operaciones	Infraestructura de la empresa	Marketing y ventas
Indicadores no aplicables	211	64	117	195
Porcentaje	100%	30,3%	55,45%	92,42%
Indicadores aplicables	0	147	94	16
Porcentaje	0%	69,6%	44,55%	7,58%

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos se evidenció que el área de Operaciones es la categoría con mayor aplicabilidad con un total de 147 perteneciente al 70% del total de indicadores.

3.1.2. Matriz Quality Function Development (QFD)

Para la implementación de QFD se identificó los cuatro procesos principales dentro del área de Operaciones (Planificación de corte por lotes, Corte de Lotes, Confección de Lotes y Terminados de lote) para el Caso estudio A y los tres procesos principales (Planificación y Corte, Confección y Acabados) para el Caso Estudio B, asignando un valor de prioridad a cada uno de estos donde, 3 es bajo, 6 es medio y 9 es alto con el objetivo de obtener la relación entre cada indicador seleccionado previamente de la matriz de ponderación de aplicabilidad y cada proceso, donde 1 es débil, 3 es medio y 5 es fuerte. Dichas ponderaciones fueron establecidas por un panel de 5 expertos, se sumó las valoraciones de cada proceso obtenido por indicador para la selección del proceso en donde se diseñó el modelo. (Apéndice 5 y 6)

Tabla 3 Resultados de análisis Quality Function Development Caso Estudio A

	OPERACIONES			
Proceso	Planificación de corte por lotes	Corte de Lotes	Confección de Lotes	Terminados de lote
Prioridad	3	6	9	9
Suma	636	2340	4320	3600
Porcentaje	6%	21%	40%	33%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 Resultados de análisis Quality Function Development Caso Estudio

OPERACIONES			
Proceso	Planificación y corte	Confección	Acabados
Prioridad	6	9	3
Suma	2136	4374	1820
Porcentaje	26%	53%	22%

Fuente: Elaboración propia

Para el caso de estudio A se determinó el proceso de Confección de Lotes con el 40%, y para el caso de estudio B el proceso de Confección con el 53%. Sin embargo, para aportar mayor variabilidad al estudio en el Caso A se consideró trabajar con el proceso de Terminado de Lotes con el 33%.

3.1.3. Análisis Jerárquico caso estudio A

En el desarrollo de AHP se calculó el valor absoluto de cada indicador, definido por la sumatoria de la multiplicación de la ponderación y la prioridad de cada proceso; así como el valor relativo referente al porcentaje del total del valor absoluto en la matriz QFD. Una vez obtenido este porcentaje por indicador se aplicó el diagrama de Pareto para obtener una primera selección de indicadores que más se ajusten al modelo. (Apéndice 7).

Una vez obtenido el nuevo conjunto de indicadores, se realizó el agrupamiento por categoría (Apéndice 8) y área de acuerdo a la naturaleza de cada indicador según lo establecido por el Proyecto SUMA.

Tabla 5 Agrupamiento de indicadores por categoría y área

Categoría	Área
Energía	Ambiental
Gestión ambiental	Ambiental
Materiales	Ambiental
Residuos	Ambiental
Ruido ambiente	Ambiental
Inversiones a largo plazo	Económico
Rentabilidad económica	Económico
Beneficios sociales	Social
Comportamiento ante desvinculaciones	Social
Desarrollo del trabajador	Social
Horas de trabajo	Social
Igualdad de oportunidades	Social

Libertad de asociación y negociación colectiva	Social
Relación laboral	Social
Salario justo	Social
Seguridad y Salud Ocupacional	Social
Trabajo forzoso	Social
Trabajo infantil	Social

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de identificar los potenciales indicadores fue necesario establecer criterios de comparación por área y calificarlos de acuerdo a una escala de importancia donde 9 representa la mayor y 1 la menor importancia, la cual fue establecida de acuerdo a la “Escala de comparación de Saaty”, con base al Principio de descomposición, el mismo que menciona que para resolver la complejidad, el AHP admite organizar un problema complejo en subproblemas jerárquicos con dependencias de acuerdo al nivel de descomposición en que se encuentra (Huamaní & Tejada, 2015).

Seguidamente, se estableció criterios de priorización que se muestran en la tabla 6, los mismos que fueron evaluados en una matriz de comparación mediante la asignación de una calificación de acuerdo a la escala antes mencionada. Dicha evaluación se realizó mediante el método Delphi donde se interactuó con un grupo de expertos de la empresa caso de estudio y el proyecto SUMA mediante el agregado de opiniones, de tal manera que se compense la relación recíproca de la comparación, con el objetivo de priorizar los criterios que más se ajusten para la selección de indicadores en el desarrollo del modelo.

Tabla 6 Criterios de priorización para el desarrollo de AHP

CRITERIOS DE PRIORIZACIÓN	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	SUMA	%
A Disponibilidad de datos		5	1	3	3	5	3	5	3	5	3	36	7%
B Pertinencia para la empresa	5		7	7	5	5	5	7	5	7	7	60	11%
C Facilidad de medición	9	3		3	3	5	3	5	3	3	5	42	8%
D Beneficios a los trabajadores	7	3	7		5	3	5	3	5	3	5	46	8%
E Calidad de vida	7	5	7	5		3	5	3	3	3	5	46	8%
F Solución de conflictos	5	5	5	7	7		7	5	5	5	3	54	10%
G Bienestar de los trabajadores	7	5	7	5	5	3		3	5	7	5	52	9%
H Posee una norma mínima susceptible de comparación	5	3	5	7	7	5	7		7	5	7	58	11%
I Grado de satisfacción de condiciones laborales	7	5	7	5	7	5	5	3		3	5	52	9%
J Son suficientemente flexibles	5	3	7	7	7	5	3	5	7		3	52	9%
K Formación de los trabajadores	7	3	5	5	5	7	5	3	5	7		52	9%
TOTAL												550	100%

Fuente: Elaboración propia

✓ **Matriz AHP del área Social**

Una vez evaluado el conjunto de categorías con cada uno de los criterios se realizó el promedio total por categoría con el valor obtenido en cada matriz de comparación y se priorizó aquellos elementos con mayor puntuación, en este caso para la para el área social se establecieron once criterios de comparación y los resultados obtenidos fueron: Beneficios Sociales, Horas de Trabajo, Salario Justo y Seguridad y Salud Ocupacional. (Apéndice 9)

A continuación, se muestra un ejemplo de una matriz de comparación a partir del primer criterio de priorización, en el cual se basa la relación y puntuación de los indicadores; de igual manera se desarrolló con los demás criterios.

Tabla 7 Matriz de comparación con base en el primer criterio de priorización.

A	Disponibilidad de datos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	SUMA	%
1	Beneficios sociales		3	5	3	5	9	7	5	3	7	9	56	10%
2	Comportamiento ante desvinculaciones	7		5	3	5	7	5	3	3	7	7	52	9%
3	Desarrollo del trabajador	5	5		3	5	7	5	5	3	7	7	52	9%
4	Horas de trabajo	7	7	7		7	9	7	5	5	7	9	70	13%
5	Igualdad de oportunidades	5	5	5	3		7	5	3	3	5	5	46	8%
6	Libertad de asociación y negociación colectiva	1	3	3	1	3		5	1	3	5	5	30	5%
7	Relación laboral	3	5	5	3	5	5		3	3	7	7	46	8%
8	Salario justo	5	7	5	5	7	9	7		7	9	7	68	12%
9	Seguridad y Salud Ocupacional	7	7	7	5	7	7	7	3		7	7	64	12%
10	Trabajo forzoso	3	3	3	3	5	5	3	1	3		5	34	6%
11	Trabajo infantil	1	3	3	1	5	5	3	3	3	5		32	6%
TOTAL													550	100%

Fuente: Elaboración propia

Se escogió los indicadores considerados más representativos dentro de las categorías obtenidas en la matriz de comparación entre los cuales están: Número de horas efectivamente trabajadas por cada nivel, Número de horas de trabajo semanales contratadas, Promedio de horas en exceso trabajadas por los empleados sobre las 40 horas semanales, Provisión de EPP a los empleados, Salario pagado a los empleados, Número/porcentaje de lesiones en la organización por calificación de trabajo dentro de la compañía y Horas perdidas de empleados por lesiones en cada nivel.

Tabla 8 Resultados de la matriz AHP - área Social

MATRIZ DE PRIORIZACION		Disponibilidad de datos	Pertinencia para la empresa	Facilidad de medición	Beneficios a los trabajadores	Calidad de vida	Solución de conflictos	Bienestar de los trabajadores	Posee una norma mínima susceptible de comparación	Grado de satisfacción de condiciones laborales	Son suficientemente flexibles	Formación de los trabajadores	
		PESOS	7%	11%	8%	8%	8%	10%	9%	11%	9%	9%	9%
	ELEMENTOS DE PRIORIZACIÓN												%
1	Beneficios sociales	10%	10%	12%	11%	11%	8%	9%	11%	9%	11%	7%	9,78%
2	Comportamiento ante desvinculaciones	9%	8%	11%	7%	5%	10%	7%	11%	6%	8%	7%	8,08%
3	Desarrollo del trabajador	9%	10%	8%	11%	11%	8%	9%	8%	10%	9%	13%	9,58%
4	Horas de trabajo	13%	13%	13%	11%	8%	8%	9%	11%	11%	11%	9%	10,60%
5	Igualdad de oportunidades	8%	9%	9%	9%	10%	9%	10%	7%	10%	9%	12%	9,34%
6	Libertad de asociación y negociación colectiva	5%	7%	5%	8%	7%	11%	7%	7%	6%	7%	7%	7,05%
7	Relación laboral	8%	9%	9%	8%	9%	12%	9%	8%	11%	10%	11%	
8	Salario justo	12%	11%	11%	11%	14%	10%	11%	11%	12%	12%	10%	11,27%
9	Seguridad y Salud Ocupacional	12%	13%	11%	12%	11%	11%	12%	11%	12%	10%	12%	11,46%
10	Trabajo forzoso	6%	5%	5%	7%	8%	8%	9%	7%	8%	8%	7%	7,14%
11	Trabajo infantil	6%	5%	5%	5%	5%	7%	7%	8%	6%	7%	7%	6,08%

Fuente: Elaboración propia

✓ **Matriz AHP del área Ambiental**

Se realizó de la misma manera para el área ambiental, pero con la diferencia que se estableció 5 criterios de comparación, debido a que el número de categorías de esta área era menor, y los resultados obtenidos fueron: Energía, Materiales y Residuos. (Apéndice 10)

Los indicadores más representativos dentro de las categorías obtenidas en la matriz de comparación son: Consumo total de electricidad de las empresas, Consumo total de combustibles, Peso total de materiales utilizados en la producción, Peso total de residuos generados en la empresa y % de residuos reciclados.

Tabla 9 Resultados de la matriz AHP - área Ambiental

MATRIZ DE PRIORIZACION		Disponibilidad de datos	Pertinencia para la empresa	Impacto ambiental	Posee una norma mínima de comparación	Facilidad de medición	
		21%	31%	29%	19%	19%	
ELEMENTOS DE PRIORIZACIÓN							%
1	Energía	18%	20%	26%	26%	22%	27%
2	Gestión ambiental	14%	8%	16%	16%	12%	15%
3	Materiales	26%	30%	20%	16%	22%	28%
4	Residuos	26%	30%	22%	18%	22%	29%
5	Ruido ambiente	16%	12%	16%	24%	22%	20%

Fuente: Elaboración propia

✓ **Matriz AHP del área Económica**

Para el área económica no se aplicó la matriz de priorización, debido que al realizar el agrupamiento por categorías se obtuvo únicamente dos, por lo que se tomó el 100% del resultado para el desglosamiento y selección final de indicadores. Los indicadores obtenidos fueron: Productividad laboral y Valor agregado (VA) relacionado con el producto.

3.1.4. Análisis Componentes Principales Caso Estudio B

Para la aplicación de PCA se trabajó con el primer set de indicadores obtenidos de los resultados de la matriz de priorización QFD (Apéndice 5), con un total de 147 indicadores, resultado de la matriz de ponderación de Porter del Caso de estudio B (Apéndice 4).

Con el fin de obtener un nuevo set de indicadores de sustentabilidad que tengan el mayor enfoque en el área de Operaciones, se realizó una encuesta (Apéndice 11) aplicada a 30 expertos y conocedores del área. Se evaluó cada indicador y el grado de importancia dentro del subproceso seleccionado mediante una puntuación del 1 al 5, donde: 1 es (Nada importante), 2 es (Poco importante), 3 es (Algo importante), 4 es (Importante) y 5 es (Muy importante).

Se depuró las respuestas y se generó un nuevo set de aquellos indicadores con los puntajes más representativos de acuerdo a la suma del resultado total de las percepciones, reduciendo el set a 57 indicadores, para posteriormente realizar un agrupamiento por área y aplicar el análisis PCA.

Para el análisis se utilizó el software IBM SPSS Statics 21, donde los criterios de reducción de variables son 1) correlaciones moderadas, 2) la prueba de esfericidad de Bartlett y 3) la prueba de Kaiser-Meyer-Olkin (.KMO) con el fin de probar la validez y significancia de los resultados.

3.1.4.1. Análisis ambiental

Para este caso la tabla 10 indica un valor de 0.769, valor que es superior a 0.5, valor considerado como intermedio, entonces se procede a la aplicación del análisis factorial al conjunto de datos.

Tabla 10 KMO y prueba de Bartlett – Análisis área ambiental

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		,769
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	317,054
	gl	91
	Sig.	,000

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se explica la proporción acumulada donde se evalúa la cantidad total de varianza que explican los componentes principales consecutivos, donde se considera las raíces características o autovalores mayores a uno. Dicha proporción ayuda a determinar la cantidad de componentes principales que se utilizará. En el Caso de estudio A retiene 3 componentes principales que explica el 66,8% de la varianza total.

Tabla 11 Varianza Total explicada – Análisis área ambiental

Componente	Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción	Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	47,796	3,177	22,696	22,696
2	58,655	3,177	22,695	45,391
3	66,802	2,998	21,411	66,802
4				

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la matriz de componentes rotados se puede determinar que los indicadores A1015 y A1013 tienen el mayor coeficiente de correlación con el componente 1, el indicador A1041 tiene el mayor coeficiente de correlación con el componente 2 y los indicadores A1019 y A040 tienen el mayor coeficiente de relación con el componente 3.

Tabla 12 Matriz de componentes rotados – Análisis área ambiental

	Componente		
	1	2	3
A1015	,843	,220	,046
A1013	,795	,121	,240
A1035	,769	,116	,304
A1027	,590	,410	,334
A1041	,004	,816	,167
A1036	,208	,736	,212
A1012	,404	,687	,250
A1044	,289	,623	,376
A1014	,507	,568	,108
A1019	,126	,295	,810
A1016	,268	,174	,806
A1040	-,018	,529	,856
A1043	,422	,042	,615
A1020	,288	,379	,575

Fuente: Elaboración propia

3.1.4.2. Análisis social

Para este caso la tabla 13 indica un valor de 0.761, valor que es superior a 0.5, valor considerado como intermedio, entonces se procede a la aplicación del análisis factorial al conjunto de datos.

Tabla 13 KMO y prueba de Bartlett - Análisis área social

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		,761
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	325,233
	gl	91
	Sig.	,000

Fuente: Elaboración propia

Para el Caso de estudio B se retiene cuatro componentes que explica el 72,73% de la varianza total.

Tabla 14 Varianza Total explicada – Análisis área social

Varianza total explicada				
Componente	Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción	Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	47,462	2,986	21,328	21,328
2	56,728	2,958	21,130	42,458
3	65,235	2,375	16,967	59,425
4	72,733	1,863	13,308	72,733

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la matriz de componentes rotados se puede determinar que los indicadores S3026 y S3030 tienen el mayor coeficiente de correlación con el componente 1, el indicador S6056 tiene el mayor coeficiente de correlación con el componente 2, el indicador S3024 tiene el mayor coeficiente de relación con el componente 3 y el indicador S3028 y S0327 tiene el mayor coeficiente de correlación con el componente 4.

Tabla 15 Matriz de componentes rotados – Análisis área social

	Componente			
	1	2	3	4
S3026	,807	,072	,372	,281
S3030	,804	,171	,199	,103
S6055	,689	,330	-,025	,195

S3022	,628	,317	,453	,191
S6056	,367	,793	-,018	,126
S3020	,088	,748	,454	,100
S6058	,223	,719	,213	,009
S6060	,029	,687	,402	,323
S6059	,459	,573	,042	,346
S3024	,188	,206	,798	,252
S6057	,192	,191	,750	,329
S1001	,436	,267	,527	-,316
S3028	,153	,178	,180	,792
S3027	,360	,161	,261	,742

Fuente: Elaboración propia

3.2. Contrastación y obtención del set de indicadores

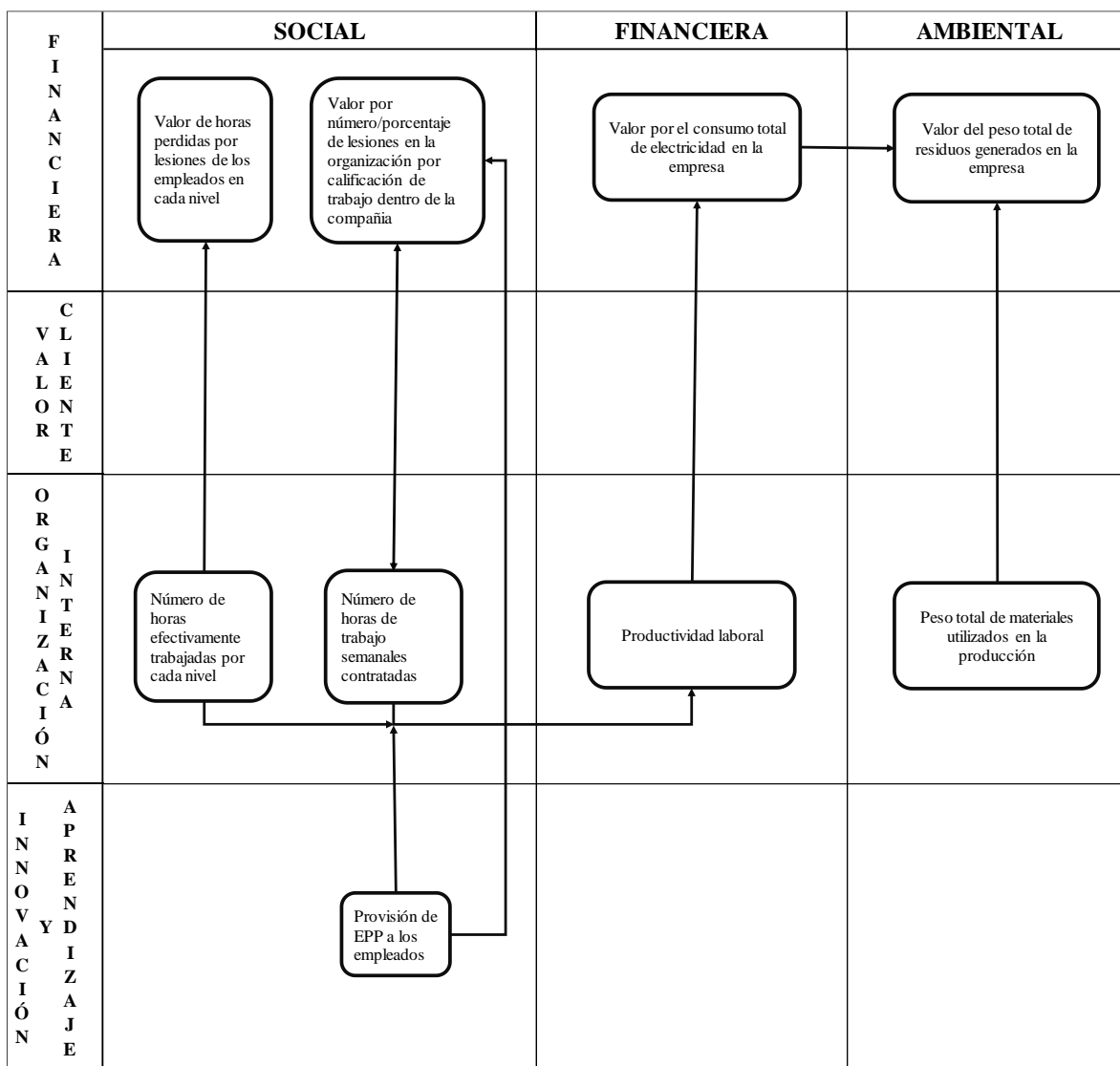
Para la obtención del set general de indicadores se realizó una contrastación de resultados obtenidos del método de Análisis jerárquico como Análisis de componentes principales, seleccionando aquellos que resultaron elegidos en los dos métodos, para lo que se obtuvo los siguientes indicadores: Horas perdidas de empleados por lesiones, Número porcentaje de lesiones en la organización por calificación de trabajo dentro de la compañía, Consumo total de electricidad de las empresas, Peso total de residuos generados en la empresa, Productividad laboral, Peso total de materiales utilizados en la producción, Número de horas efectivamente trabajadas por cada nivel, Número de horas semanales trabajadas y Provisión de EPP a los empleados.

3.3. Integración de indicadores

3.3.1. Balanced Score Card

En la figura 4 se muestra el Sustainable Balanced Score Card, el cual indica el funcionamiento del modelo matemático de las empresas casos de estudio A y B. El cuadro de mando integral sustentable contempla indicadores dentro del ámbito social, ambiental y económico, los cuales se interrelacionan entre sí para dar paso al planteamiento de funciones objetivo y restricciones.

Figura 4 Integración de indicadores - Sustainable Balanced Score Card



Fuente: Elaboración propia

Los indicadores presentes en la figura 4 se interpretaron en función de la perspectiva financiera en la que se encuentran, los cuales son: Costo de horas perdidas por lesiones de los empleados en cada nivel, Costo por número/porcentaje de lesiones en la organización por calificación de trabajo dentro de la compañía, Gasto por consumo total de electricidad en la empresa y Costo por peso total de residuos generados en la empresa. A su vez, se utilizó el costo de producción por pijama, el cual relaciona el indicador de productividad laboral y costos indirectos de fabricación. Es importante mencionar que dentro del ámbito social se encuentran indicadores como el número/porcentaje de lesiones en la organización por calificación de trabajo dentro de la compañía y horas perdidas de

empleados por lesiones en cada nivel, los mismos que están relacionados con número de horas efectivamente trabajadas por cada nivel, número de horas de trabajo semanales contratadas y provisión de equipos de protección personal a los empleados. Dentro de ámbito ambiental, se encuentran indicadores como consumo total electricidad y el peso total de residuos generado en las empresas, los cuales se utilizaron para calcular el impacto de huella de carbono generado. Es importante señalar, que el cálculo de la productividad laboral se realizó a través de la metodología Westinghouse, la cual toma en cuenta factores del operario que influyen en la productividad, tales como: habilidad, seguridad, edad, esfuerzo, ritmo de trabajo, coordinación entre otros.

Seguidamente, se describe el modelo matemático, el mismo que se resolvió a partir de programación lineal entera mixta con el método ϵ -constrain. Las restricciones y variables de decisión del modelo se categorizaron en tres grupos: (i) formulación del modelo económico (ii) submodelo ambiental y (iii) submodelo social.

4. Capítulo III: Desarrollo del modelo

El modelo consta de tres funciones objetivo, las cuales se estructuran con base en el concepto de sustentabilidad ya que su principal objetivo es maximizar la utilidad, minimizar el impacto ambiental y el índice de accidentabilidad. Además, se evalúa la validez y robustez del modelo mediante el planteamiento de tres escenarios, donde el primer escenario hace uso de la energía hidráulica para realizar el proceso de producción, el segundo escenario hace uso de energía hidráulica y fotovoltaica. El tercer escenario considera el índice de uso de equipo de protección personal y las alternativas de energía y el último evalúa el beneficio económico, ambiental y social una vez amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica.

La información necesaria para evaluar los tres escenarios se va tomar de la base de datos otorgada por las empresas caso de estudio. Es importante señalar que para dimensionar el equipo de generación de energía fotovoltaica se consideró información sobre factores de radiación en la ciudad de Cuenca, uso de energía y potencia de las máquinas en los procesos seleccionados.

4.1. Formulación matemática

En primera instancia para el planteamiento de ecuaciones y diseño del modelo, se establecen los índices y parámetros utilizados en la formulación los cuales se ilustran a continuación:

Índices:

- m** Índice de modelo, $m = 1, 2, 3, 4 \dots m$
- e** Índice de energía, $e = 1, 2 \dots e$

Parámetros:

- PV_m** Precio de venta por modelo m
- $CUP_{m,e}$** Costo unitario de producción por modelo m según tipo de energía e
- Mp_m** Materia prima necesaria por modelo m
- Mpd_m** Materia prima disponible por modelo m
- CTB** Capacidad total de la bodega
- FCR** Factor de conversión de residuos a kg de CO₂
- R_m** Residuos generados por modelo m
- FCE_e** Factor de conversión de energía a kg de CO₂ según tipo de energía
- $kW_{m,e}$** Kilowatts utilizados por modelo m según de energía e

<i>EC</i>	Capacidad de los paneles
<i>P</i>	Porcentaje aceptable de residuos por política de la empresa
<i>TP_m</i>	Tiempo de producción por modelo (horas)
<i>la</i>	Índice de accidentabilidad en MiPymes
<i>TaEpp</i>	Tasa de accidentabilidad a partir del uso de EPP
<i>SH</i>	Costo de horas perdidas por lesión
<i>Pd</i>	Días perdidos por accidente
<i>H</i>	Horas
<i>CH</i>	Costo Horas
<i>Hd</i>	Horas disponibles por modelo m
<i>He</i>	Horas extras por mes

Variables de decisión:

<i>Up_{m,e}</i>	Unidades producidas por modelo m según tipo de energía e
-------------------------	--

Funciones objetivo:

U	Utilidad
CO2	Dióxido de carbono emitido
SL	Número de lesiones

4.2. Formulación del modelo económico

La ecuación (1) representa la expresión para maximizar la utilidad de la empresa en función del número de unidades producidas, las mismas que están en función de la demanda de los casos de estudio A y B, debido a que trabajan con el tipo de producción bajo pedido.

Además, el costo de producción y venta por modelo están relacionados con el costo de mano de obra y costos indirectos de fabricación, donde se consideró en este último, el costo de producción con energía hidráulica y fotovoltaica dentro del proceso de confección y acabados.

$$MAX U = \sum_{e=1}^E \sum_{m=1}^M [(Ingresos) - (Costos)] \tag{ 1 }$$

$$MAX U = \sum_{e=1}^E \sum_{m=1}^M [(Up_{m,e} * PVP_m) - (CUP_{m,e} * UP_{m,e}) - SH]$$

Al mismo tiempo, la cantidad de unidades a producir está en función de la materia prima disponible y la capacidad de la bodega que se presenta en la ecuación (2) y (3).

$$\sum_{e=1}^E \sum_{m=1}^M (Mp_m * Up_{m,e}) \leq \sum_{m=1}^M (Mpd_m) \quad \forall e \in E, m \in M \quad (2)$$

$$\sum_{m,e=1}^M (UP_{m,e}) \leq CTB \quad \forall m \in M \quad (3)$$

4.3. Formulación del modelo ambiental

La formulación de la función objetivo se centra en minimizar el índice de emisión de huella de carbono, que se presenta en la ecuación (4), cuando se produce determinado número de unidades. Esta ecuación tiene en cuenta los kWh consumidos y los residuos generados según el tipo de modelo y energía a utilizar para después ser transformados a kg de CO2 emitidos.

De la misma forma la cantidad de kWh y los residuos varían en función del tipo de proceso y modelo a producir en las empresas casos de estudio A y B, donde la conversión de kWh en kg C02 emitidos, se realiza mediante la multiplicación de un factor de conversión de acuerdo al tipo de energía a utilizar en los procesos de confección y acabados.

$$MIN_{CO_2} = \sum_{e=1}^E \sum_{m=1}^M [(kg \text{ de } CO_2 \text{ } m) + (kg \text{ de } CO_2 \text{ } m,e)] \quad (3)$$

$$MIN_{CO_2} = \sum_{m=1}^M [FCR * (R_m * UP_m) + FCE_e * (UP_{m,e} * kW_{m,e})]$$

La cantidad de residuos generados de un determinado número de unidades producidas, que se presenta en la ecuación (5) no podrá ser mayor al porcentaje aceptable establecido de acuerdo a políticas instituidas dentro de las empresas caso de estudio A y B en relación a la cantidad de materia prima disponible.

A su vez la cantidad de kW utilizados de energía fotovoltaica en los procesos de confección y acabados debe ser menor o igual a la capacidad instalada de los paneles, según lo establecido en la ecuación (6).

$$\sum_{e=1}^E \sum_{m=1}^M (UP_{m,e}) * R_m \leq Mpd_m * P \quad \forall e \in E, m \in M \quad (5)$$

$$\sum_{e=2}^E \sum_{m=1}^M (UP_{m,e} * kW_{m,e}) \leq EC \quad \forall e \in E, m \in M \quad (6)$$

4.4. Formulación del modelo social

El enfoque propuesto en la ecuación (7) consiste en minimizar el número de lesiones que pueden ocasionarse en los procesos de confección y acabados, teniendo en cuenta: índices de accidentabilidad históricos dentro de la industria textil en Ecuador y el uso de equipos de protección personal en las empresas casos de estudio A y B.

$$MIN_{SL} = \sum_{e=1}^E \sum_{m=1}^M [(UP_{m,e}) * (TP_m * Ia * TaEpp)] \quad (7)$$

Al mismo tiempo el modelo trata de minimizar el costo de Horas perdidas de empleados por lesiones en cada nivel a partir de la ecuación (7).

$$MIN_{SH} = [SL * DP * H * CH] \quad (8)$$

El modelo se encuentra limitado por el número de horas extras disponibles a contratar por mes, a su vez tiene en cuenta los días y las horas disponibles para la producción en función de la cantidad de productos a elaborar en las empresas caso de estudio A y B.

$$\sum_{e=1}^E \sum_{m=1}^M [UP_{m,e} * TP_m \leq Hd + He \quad \forall e \in E, m \in M] \quad (10)$$

$$He \leq 48 * \text{mes} \quad (11)$$

4.5. Caracterización de variables

Con el fin de analizar la situación de los casos estudio A y B, así como establecer coeficientes de las variables que componen las ecuaciones se recolectó datos históricos de las empresas. Con el fin de caracterizar cada uno de una manera observable y medible que puede ser usada para mostrar los cambios y progresos que hace el modelo hacia la obtención de un resultado específico.

4.5.1. Metros de materia prima utilizados por unidad

Caso de estudio A

La cantidad de metros por unidad se determinó con base en datos de una orden de producción de un lote de 28 unidades de la talla M, donde se registró el peso y el rendimiento de cada metro para un número de unidades, de acuerdo a cada talla y en este caso el top del conjunto, donde se consideró con un rendimiento por metro de 4,57 y un peso total del lote de 5,85 kg, dando un total de 26,78 por lote y 9,96 por unidad. Para el pantalón se realizó el cálculo con un rendimiento del 6,40. Se utilizó la misma mecánica

para el siguiente modelo, considerando el peso correspondiente y se obtuvo los siguientes resultados:

✓ **Pijama Joel**

Tabla 16 Metros de materia prima utilizados por unidad de modelo Joel

Pijama Joel			
Talla	Top	Pantalón	Total, metros / conjunto (m)
	Materia prima utilizada (m)	Materia prima utilizada (m)	
M	0,96	1,35	2,30

Fuente: Elaboración propia

✓ **Pijama Ben**

Tabla 17 Metros de materia prima utilizados por unidad de modelo Ben

Pijama Ben			
Talla	Top	Pantalón	Total, metros / conjunto (m)
	Materia prima utilizada (m)	Materia prima utilizada (m)	
M	1,52	1,89	3,41

Fuente: Elaboración propia

Caso de estudio B

La cantidad de metros de materia prima utilizados por unidad se determinó con base en el rendimiento de un metro de tela para un número de unidades. En este caso se determinó para un modelo de cojín básico de 45 x 45 cm y para un cojín silla de 50 x 50 cm y se obtuvo los siguientes resultados:

✓ **Cojín básico**

Tabla 18 Metros de materia prima utilizados por unidad de modelo cojín básico

Cojín básico			
Cojín básico	Ancho	Altura	Total, metros / unidad(m)
	Materia prima utilizada (m)	Materia prima utilizada (m)	
Ladrillo	0,45	0,45	0,9

Fuente: Elaboración propia

✓ **Cojín silla**

Tabla 19 Metros de materia prima utilizados por unidad de modelo cojín silla

Cojín silla		
Cojín silla	Ancho	Altura

	Materia prima utilizada (m)	Materia prima utilizada (m)	Total, metros / unidad(m)
Lino	0,5	0,5	1

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Cantidad de residuos por unidad

Caso de estudio A

Para la caracterización de este indicador fue necesario considerar los retazos que no son utilizados, debido a que estos son uno de los principales motivos que generan desperdicios. Se tomó en cuenta el porcentaje de desperdicios por cada componente de la unidad, es decir el top y el pantalón, se multiplicó por el peso, para finalmente obtener la cantidad total de desperdicio por unidad (conjunto) en kg.

✓ Pijama Joel

Tabla 20 Cantidad de desperdicio por unidad de modelo Joel

Pijama Joel					
Talla	Top		Pantalón		Total, desperdicio / conjunto (Kg)
	Peso (Kg)	%Desperdicio	Peso (Kg)	%Desperdicio	
M	0,22	1,59	0,21	6,64	0,0176

Fuente: Elaboración propia

✓ Pijama Ben

Tabla 21 Cantidad de desperdicio por unidad de modelo Ben

Pijama Ben					
Talla	Top		Pantalón		Total, desperdicio / conjunto (Kg)
	Peso (Kg)	%Desperdicio	Peso (Kg)	%Desperdicio	
M	0,38	2,92	0,53	3,50	0,0297

Fuente: Elaboración propia

Caso de estudio B

Para la caracterización de este indicador dentro del subproceso de acabados se consideró los residuos generados en las actividades del relleno de los cojines y el corte de hilos cuando se perfecciona el producto. Se obtuvo los siguientes resultados:

✓ Cojín básico

Tabla 22 Cantidad de desperdicio por unidad de modelo Cojín básico / Ladrillo

Cojín básico			
Cojín básico	Peso (Kg)	%Desperdicio	Peso Desperdicio (Kg)
Ladrillo	0,7	0,061	0,0427

Fuente: Elaboración propia

✓ **Cojín silla**

Tabla 23 Cantidad de desperdicio por unidad de modelo Cojín silla / Lino

Cojín silla			
Cojín silla	Peso (Kg)	%Desperdicio	Peso Desperdicio (Kg)
Lino	0,85	0,83	0,00083

Fuente: Elaboración propia

Con base en los resultados obtenidos en las tablas 16 y 17 se evidencia que la cantidad de residuos en el subproceso de acabados es mínima, por lo que se considera despreciable para la ejecución del modelo en el proceso de acabados.

4.5.3. Peso por unidad

Para el peso total por unidad se consideró el peso de cada componente del conjunto más los desperdicios generados de cada caso de estudio. Se obtuvo los siguientes resultados:

Caso de estudio A

✓ **Pijama Joel**

Tabla 24 Peso total por unidad de modelo Joel

Pijama Joel				
Talla	Top Peso (Kg)	Pantalón Peso (Kg)	Total, desperdicio / conjunto (Kg)	Peso Total conjunto (Kg)
M	0,22	0,21	0,0176	0,45

Fuente: Elaboración propia

✓ **Pijama Ben**

Tabla 25 Peso total por unidad de modelo Ben

Pijama Ben				
Talla	Top Peso (Kg)	Pantalón Peso (Kg)	Total, desperdicio / conjunto (Kg)	Peso Total conjunto (Kg)
M	0,38	0,53	0,0297	0,94

Fuente: Elaboración propia

Caso de estudio B

✓ Cojín básico

Tabla 26 Peso total por unidad de Cojín Básico / Ladrillo

Cojín básico			
Cojín básico	Peso (Kg)	Peso Desperdicio (Kg)	Peso Total unidad (Kg)
Ladrillo	0,7	0,0427	0,7427

Fuente: Elaboración propia

✓ Cojín silla

Tabla 27 Peso total por unidad de Cojín Silla / Lino

Cojín silla			
Cojín silla	Peso (Kg)	Peso Desperdicio (Kg)	Peso Total unidad (Kg)
Lino	0,85	0,00083	0,85083

Fuente: Elaboración propia

4.5.4. Horas de producción por unidad

Caso de estudio A

Para el cálculo de número de horas de producción por unidad se consideró todas las actividades dentro del subproceso de confección tanto de la camiseta/top como del pantalón, obteniendo así un tiempo de ciclo promedio total por unidad en horas.

✓ Pijama Joel

Tabla 28 Horas de producción por unidad de modelo Joel en el proceso de confección

Pijama Joel / Confección	
Top	
Actividad	T (seg)
Fusionar pellón	186
Pegar solapa	95
Remachar solapa	27
Asentar solapa	97
Filetear bolsillo	15
Doblar bolsillo	26
Pegar tapacosturas en bolsillo	21
Planchar bolsillo	34
Filetear falso	18
Pegar etiqueta	19
Pegar falso	56

Asentar falso	59
Unir hombros (2)	71
Pegar bolsillo	120
Pegar mangas (2)	97
Cerrar costado (2)	98
Remachar sisas	34
Recubrir bajos 2	212
Recubrir mangas (2)	76
Hacer ojales	85
Pegar botones	85
Pantalón	
Actividad	T (seg)
Remachar	10
Unir tiros delanteros y posterior	28
Cerrar entrepierna	55
Pegar Elástico	55
Remachar tiro	18
Total (segundos)	1697,0
Total (horas)	0,471

Fuente: Elaboración propia

✓ **Pijama Ben**

Tabla 29 Horas de producción por unidad de modelo Joel en el proceso de confección

Pijama Ben / Confección	
Top	
Actividad	T (seg)
Armar cuello redondo	90
Filetear bolsillo	12
Planchar bolsillo	20
Recubrir triángulo	44
Remachar triángulo	21
Pegar etiqueta	22
Unir hombros (2)	28
Pegar bolsillo	96
Pegar cuello redondo	68
Cerrar costado (2)	77
Remachar sisas	34
Recubrir bajos	85
Recubrir mangas (2)	87
Pantalón	
Actividad	T (seg)
Remachar	10
Unir tiros delanteros y posterior	30

Cerrar entrepierna	61
Pegar elástico	67
Remachar tiro	20,0
Recubrir bastas (2)	105
Recubrir elástico	86
Total (segundos)	1072
Total (horas)	0,298

Fuente: Elaboración propia

Caso de estudio B

Para el cálculo de número de horas de producción por unidad se consideró todas las actividades dentro del subproceso de acabados tanto del cojín básico como el cojín silla y se obtuvo un tiempo de ciclo promedio total por unidad en horas.

✓ Cojín básico

Tabla 30 Horas de producción por unidad de Cojín básico en el proceso de acabados

Cojín básico / Acabados	
Ladrillo	
Actividad	T (seg)
Rellenar el cojín con plumón	7
Pesar	17
Distribuir el plumón dentro del cojín	26
Cerrar el cojín (costura)	45
Colocar precio en tarjeta	3
Etiquetar (tarjeta y precio)	14
Total (segundos)	112
Total (horas)	0,031

Fuente: Elaboración propia

✓ Cojín silla

Tabla 31 Horas de producción por unidad de Cojín silla en el proceso de acabados

Cojín silla / Acabados	
Lino	
Actividad	T (seg)
Rellenar el cojín con plumón	24
Pesar	15
Distribuir el plumón dentro del cojín	30
Cerrar el cojín (costura)	24
Actividades específicas terminados	

Medir y señalar pupeado	51
Pupear	48
Cortar hilos, previo a etiquetado	46
Fin de actividades específicas	
Colocar precio en tarjeta	4
Etiquetar (tarjeta y precio)	8
Total (segundos)	250
Total (horas)	0,069

Fuente: Elaboración propia

4.5.5. Costo de producción

Se determinó el costo de producción por unidad al analizar tres alternativas para las empresas casos de estudio las cuales son:

- ✓ Producción con energía hidráulica
- ✓ Producción con energía fotovoltaica
- ✓ Producción con energía hidráulica y fotovoltaica.

Donde el mismo se establece a partir de la sumatoria del tiempo de duración de cada actividad por el costo de la misma. Es importante mencionar que se consideró mano de obra y costos directos e indirectos de fabricación del balance de resultados de las empresas casos de estudio A y B, que se tomó del trabajo de investigación de (Reino Cherez, 2022) Implementing time driven activity based costing (TDABC) in micro, small and médium enterprises (MSMES): a case study in the textile industry. Por otro lado, se consideró un nuevo costo de producción una vez amortizado el equipo de generación de energía, donde en el estado de resultados se descartaron costos de depreciación del equipo. Se obtuvo los siguientes resultados:

Caso de estudio A

- ✓ Pijama Joel

Tabla 32 Costo de producción Pijama Joel

Costo de producción Pijama Joel			
Tipo de energía	Tiempo total de producción	Costo por actividad	Costo de producción
Energía Hidráulica	0,471	\$ 0,19	\$ 5,26

Energía Fotovoltaica	0,471	\$ 0,19	\$ 5,26
Energía Hidráulica y Fotovoltaica	0,471	\$ 0,19	\$ 5,26

Fuente: Elaboración propia

Costo de producción pijamas Joel al considerar la amortización del equipo de generación de energía

Tabla 33 Costo de producción pijamas Joel con equipo de generación de energía amortizado

Costo de producción Pijama Joel con equipo de generación de energía amortizado			
Tipo de energía	Tiempo total de producción	Costo por actividad	Costo de producción
Energía Hidráulica	0,471	\$ 0,19	\$ 5,26
Energía Fotovoltaica	0,471	\$ 0,11	\$ 3,10
Energía Hidráulica y Fotovoltaica	0,471	\$ 0,11	\$ 4,18

Fuente: Elaboración propia

✓ Pijama Ben

Tabla 34 Costo de producción Pijama Ben

Costo de producción Pijama Ben			
Tipo de energía	Tiempo total de producción	Costo por actividad	Costo de producción
Energía Hidráulica	0,298	\$ 0,14	\$ 2,48
Energía Fotovoltaica	0,298	\$ 0,14	\$ 2,48
Energía Hidráulica y Fotovoltaica	0,298	\$ 0,14	\$ 2,48

Fuente: Elaboración propia

Costo de producción pijamas Ben al considerar la amortización del equipo de generación de energía

Tabla 35 Costo de producción pijamas Ben con equipo de generación de energía amortizado

Costo de producción Pijama Ben con equipo de generación de energía amortizado			
Tipo de energía	Tiempo total de producción	Costo por actividad	Costo de producción
Energía Hidráulica	0,298	\$ 0,14	\$ 2,48
Energía Fotovoltaica	0,298	\$ 0,13	\$ 2,39
Energía Hidráulica y Fotovoltaica	0,298	\$ 0,13	\$ 2,44

Fuente: Elaboración propia

Caso de estudio B

✓ Cojín básico

Tabla 36 Costo de producción Cojín básico

Costo de producción Cojín básico			
Tipo de energía	Tiempo total de producción	Costo por actividad	Costo de producción
Energía Hidráulica	0,031	\$ 0,11	\$ 0,21
Energía Fotovoltaica	0,031	\$ 0,11	\$ 0,21
Energía Hidráulica y Fotovoltaico	0,031	\$ 0,11	\$ 0,21

Fuente: Elaboración propia

Costo de producción del cojín básico al considerar la amortización del equipo de generación de energía

Tabla 37 Costo de producción de cojín básico con equipo de generación de energía amortizado

Costo de producción Pijama Ben con equipo de generación de energía amortizado			
Tipo de energía	Tiempo total de producción	Costo por actividad	Costo de producción
Energía Hidráulica	0,031	\$ 0,11	\$ 0,21
Energía Fotovoltaica	0,031	\$ 0,10	\$ 0,19
Energía Hidráulica y Fotovoltaica	0,031	\$ 0,10	\$ 0,20

Fuente: Elaboración propia

✓ Cojín silla

Tabla 38 Costo de producción Cojín silla

Costo de producción Cojín básico			
Tipo de energía	Tiempo total de producción	Costo por actividad	Costo de producción

Energía Hidráulica	0,069	\$	0,12	\$ 0,49
Energía Fotovoltaica	0,069	\$	0,12	\$ 0,49
Energía Hidráulica y Fotovoltaica	0,069	\$	0,12	\$ 0,49

Fuente: Elaboración propia

Costo de producción del cojín silla al considerar la amortización del equipo de generación de energía

Tabla 39 Costo de producción de cojín silla con equipo de generación de energía amortizado

Costo de producción cojín silla con equipo de generación de energía amortizado				
Tipo de energía	Tiempo total de producción		Costo por actividad	Costo de producción
Energía Hidráulica	0,069	\$	0,12	\$ 0,49
Energía Fotovoltaica	0,069	\$	0,11	\$ 0,44
Energía Hidráulica y Fotovoltaica	0,069	\$	0,11	\$ 0,48

Fuente: Elaboración propia

4.5.6. Consumo total de electricidad por subproceso

Se determinó la cantidad de kWh útiles para la producción de una unidad en el proceso de confección y acabados, teniendo en cuenta la potencia y el tiempo de funcionamiento de las lámparas y maquinaria en las diferentes actividades. Es importante mencionar que el tiempo de producción que se determinó hace referencia a la sumatoria de todas las actividades que intervienen en los procesos seleccionados. Se obtuvo los siguientes resultados:

Caso de estudio A

✓ Pijama Joel

Tabla 40 Consumo de electricidad por máquina, pijama Joel

Consumo de electricidad por máquina Modelo pijama Joel				
Máquinas	Numero de máquinas	Potencia	Tiempo de uso (Hr)	KWh
Recta	1	450	0,17	0,078
Plancha	1	800	0,061	0,049
Overlock	1	250	0,163	0,041
Recubridora	1	400	0,027	0,011
Ojaladora	1	550	0,024	0,013

Botonera	1	550	0,024	0,013
Focos	10	100	0,471	0,471
Total			0,471	0,6756

Fuente: Elaboración propia

✓ **Pijama Ben**

Tabla 41 Consumo de electricidad por máquina, pijama Ben

Consumo de electricidad por máquina Modelo pijama Ben				
Máquinas	Numero de máquinas	Potencia	Tiempo de uso (Hr)	KWh
Recta	1	450	0,08	0,037
Plancha	1	800	0,008	0,006
Overlock	1	250	0,076	0,019
Recubridora	1	400	0,132	0,053
Focos	10	100	0,298	0,298
Total			0,298	0,4127

Fuente: Elaboración propia

Caso de estudio B

✓ **Cojín básico**

Tabla 42 Consumo de electricidad por máquina, Cojín básico

Consumo de electricidad por máquina Modelo Cojín básico					
Cantidad	Máquinas	Actividades	Potencia (W)	Tiempo de consumo (Hr)	Energía (Wh)
1	Recta	Cerrar el cojín (costura)	450	0,01	3,750
1	Balanza	Pesar	250	0,004	1,042
2		Rellenar el cojín con plumón	100	0,004	0,778
2		Pesar	100	0,004	0,833
2		Distribuir el plumón dentro del cojín	100	0,008	1,667
4	Focos	Cerrar el cojín (costura)	100	0,008	3,333
1		Colocar precio en tarjeta	100	0,001	0,111
1		Etiquetar (tarjeta y precio)	100	0,005	0,500
Total				0,044	12,014

Fuente: Elaboración propia

✓ **Cojín silla**

Tabla 43 Consumo de electricidad por máquina, Cojín silla

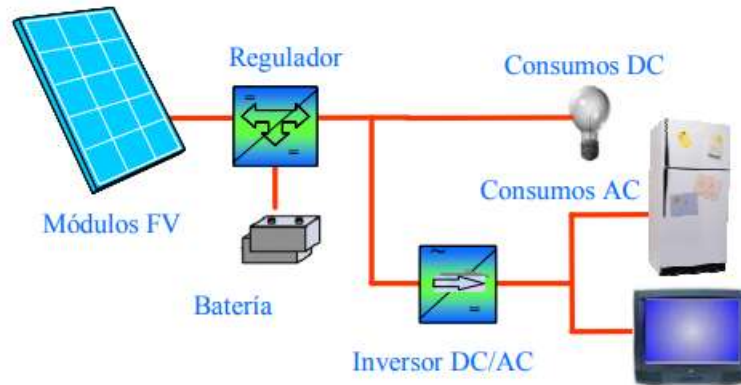
Consumo de electricidad por máquina Modelo Cojín silla					
Cantidad	Máquinas	Actividades	Potencia (W)	Tiempo de consumo (Hr)	Energía (Wh)
1	Recta	Cerrar el cojín (costura)	450	0,007	3,0
1	Balanza	Pesar	250	0,004	1,0
1	Pupeadora	Pupear	400	0,013	5,3
2		Rellenar el cojín con plumón	100	0,007	1,3
2		Pesar	100	0,004	0,8
2		Distribuir el plumón dentro del cojín	100	0,008	1,7
4		Cerrar el cojín (costura)	100	0,007	2,7
1	Focos	Medir y señalar pupeado	100	0,014	1,4
1		Pupear	100	0,013	1,3
1		Cortar hilos, previo a etiquetado	100	0,013	1,3
1		Colocar precio en tarjeta	100	0,001	0,1
1		Etiquetar (tarjeta y precio)	100	0,002	0,2
Total				0,093	20,23

Fuente: Elaboración propia

4.5.7. Capacidad de captación de energía de los paneles solares

Se consideró el uso de energía renovable como una alternativa que las empresas caso de estudio tratan de implementar en sus procesos de producción para abaratar costos a largo plazo. Por lo tanto, se dimensionó el sistema a implementar en función de la capacidad de producción diaria, la potencia de la máquinas y luminarias durante el proceso de producción, las horas de sol pico desfavorable en la ciudad de Cuenca y pérdidas por conexión. Es importante señalar que el sistema fotovoltaico se dimensionó con la configuración de corriente continua y corriente alterna; es decir un sistema autónomo.

Figura 5 Componentes de un sistema solar fotovoltaico.



Fuente: (Montenegro, 2017)

Caso de estudio A

✓ Pijama Joel

Tabla 44 Consumo eléctrico pijamas Joel

Consumo eléctrico pijamas Joel			
Máquinas	Potencia de máquinas (W)	Tiempo de consumo (H)	Energía (Wh)
Recta	450	0,17	77,75
Plancha	800	0,061	48,889
Overlock	250	0,163	40,833
Recubridora	400	0,027	10,778
Ojaladora	550	0,024	12,986
Botonera	550	0,024	12,986
Focos	1000	0,471	471,389
Total, energía			675,61

Fuente: Elaboración propia

✓ Pijama Joel

Tabla 45 Consumo eléctrico pijamas Ben

Consumo eléctrico pijamas Ben			
Máquinas	Potencia de máquinas (W)	Tiempo de consumo (H)	Energía (Wh)
Recta	450	0,08	36,625
Plancha	800	0,008	6,444
Overlock	250	0,076	19,097
Recubridora	400	0,132	52,778
Focos	1000	0,298	297,778
Total, energía			412,72

Fuente: Elaboración propia

Caso de estudio B

✓ Cojín básico

Tabla 46 Consumo eléctrico Cojín básico

Consumo eléctrico pijamas Cojín básico					
Cantida d	Máquinas	Actividades	Potencia (W)	Tiempo de consumo (Hr)	Energía (Wh)
1	Recta	Cerrar el cojín (costura)	450	0,01	3,750
1	Balanza	Pesar	250	0,004	1,042
2		Rellenar el cojín con plumón	100	0,004	0,778
2		Pesar	100	0,004	0,833
2		Distribuir el plumón dentro del cojín	100	0,008	1,667
4	Focos	Cerrar el cojín (costura)	100	0,008	3,333
1		Colocar precio en tarjeta	100	0,001	0,111
1		Etiquetar (tarjeta y precio)	100	0,005	0,500
Total					12,014

Fuente: Elaboración propia

✓ Cojín Silla

Tabla 47 Consumo eléctrico Cojín Silla

Consumo eléctrico pijamas Cojín silla					
Cantida d	Máquinas	Actividades	Potencia (W)	Tiempo de consumo (Hr)	Energía (Wh)
1	Recta	Cerrar el cojín (costura)	450	0,007	3,0
1	Balanza	Pesar	250	0,004	1,0
1	Pupeadora	Pupear	400	0,013	5,3
2		Rellenar el cojín con plumón	100	0,007	1,3
2		Pesar	100	0,004	0,8
2		Distribuir el plumón dentro del cojín	100	0,008	1,7
4	Focos	Cerrar el cojín (costura)	100	0,007	2,7
1		Medir y señalar pupeado	100	0,014	1,4
1		Pupear	100	0,013	1,3

1	Cortar hilos, previo a etiquetado	100	0,013	1,3
1	Colocar precio en tarjeta	100	0,001	0,1
1	Etiquetar (tarjeta y precio)	100	0,002	0,2
Total				20,236

Fuente: Elaboración propia

Datos para el cálculo del equipo de generación de energía

Caso de estudio A

✓ Pijama Joel

Tabla 48 Datos para el cálculo del equipo de generación de energía Pijama Joel

Costo de energía para producir una unidad	0,060	centavos
Tiempo estándar de producción en confección	0,4713	horas
Unidades producidas por jornada de trabajo	17	unidades
Energía útil para producción	11,485	Kwh
Horas del sol pico desfavorable	3,9	Kwh/m ²
Perdidas por conexión	0,1	kWh

Fuente: Elaboración propia

✓ Pijama Ben

Tabla 49 Datos para el cálculo del equipo de generación de energía Pijama Ben

Costo de energía para producir una unidad	0,037	centavos
Tiempo estándar de producción en confección	0,297	horas
Unidades producidas por jornada de trabajo	27	unidades
Energía útil para producción	11,1435	Kwh
Horas del sol pico desfavorable	3,9	kwh/m ²
Perdidas por conexión	0,1	kWh

Fuente: Elaboración propia

Caso de estudio B

✓ Cojín básico

Tabla 50 Datos para el cálculo del equipo de generación de energía Cojín básico

Costo de producción de cojín básico	0,001	ctvs.
-------------------------------------	-------	-------

Tiempo estándar de producción en confección	0,03	hrs.
Unidades producidas por jornada de trabajo	259,45	unidades
Energía útil para producción	3117,12	Wh

Fuente: Elaboración propia

✓ **Cojín Silla**

Tabla 51 Datos para el cálculo del equipo de generación de energía Cojín silla

Costo de producción de cojín silla	1,82	ctvs.
Tiempo estándar de producción en confección	0,07	hrs
Unidades producidas por jornada de trabajo	115	unidades
Energía útil para producción	2327,15	Wh

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de número de paneles y el equipo de generación de energía fotovoltaica se basó en el estudio de (Acevedo Garcés, 2016), donde se tomó en cuenta el consumo diario de kWh en los subprocesos de las empresas casos de estudio, potencia de los paneles, horas de sol pico desfavorables y pérdidas por conexión. (Anexo 1).

Diseño de equipo de generación fotovoltaica

Se decidió diseñar el equipo de generación fotovoltaica para los tipos de productos debido a que el consumo de energía eléctrica para producir pijamas Joel es de 11.48 kWh, similar a 11.14 kWh la cual es energía requerida para producir pijamas Joel.

✓ **Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 100% pijamas Joel y Ben**

Tabla 52 Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 100% - Pijamas Joel y Ben

Ítem	Cantidad	Descripción	Precio
Paneles	6	550W	\$ 888,00
Inversor de 15kw	1	15 Kwh	\$ 1.250,00
Batería de gel	4	12V	\$ 1.130,00
Regulador	1	24V-50A	\$ 472,05
Estructura	2	Acero	\$ 400,00
Instalación	3	Mano de obra	\$ 414,01

Total	\$ 4.554,06
--------------	----------------

Fuente: Elaboración propia

✓ **Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 50% pijamas Joel y Ben**

Tabla 53 Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 50% - Pijamas Joel y Ben

Ítem	Cantidad	Descripción	Precio
Paneles	3	550W	\$ 444,00
Inversor de 10kw	1	7,5 Kwh	\$ 996,00
Regulador	1	24V-30A	\$ 338,69
Batería de gel	2	12V	\$ 376,00
Estructura	1	Acero	\$ 200,00
Instalación	3	Mano de obra	\$ 235,47
Total			\$ 2.590,16

Fuente: Elaboración propia

✓ **Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 100% Cojín básico y Cojín silla**

Tabla 54 Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 100% - Cojín básico y Cojín silla

Ítem	Cantidad	Descripción	Precio
Paneles	2	450W	\$ 270,00
Inversor de 3,5 kw	1	3,5 Kwh	\$ 498,00
Batería de gel	4	12V	\$ 752,00
Estructura	1	Acero	\$ 200,00
Instalación	3	Mano de obra	\$ 172,00
Total			\$ 1.892,00

Fuente: Elaboración propia

✓ **Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 50% Cojín básico y Cojín silla**

Tabla 55 Equipo para cubrir la demanda requerida de energía al 50% - Cojín básico y Cojín silla

Ítem	Cantidad	Descripción	Precio
Paneles	1	450W	\$ 135,00
Inversor de 10 kw	1	3,5 Kwh	\$ 498,00
Batería de gel	3	12V	\$ 564,00
Estructura	1	Acero	\$ 200,00

Instalación	3	Mano de obra	\$	139,70
Total			\$	1.536,70

Fuente: Elaboración propia

4.5.8. Metros de materia prima disponibles por modelo

Caso de estudio A

Para el cálculo de metros de materia prima disponible por unidad, se consideró el tipo de rollo y el número de cada uno de estos requeridos en una orden de producción para un lote en específico, es decir para la pijama Joel es necesario 3 tipos de rollo y para la pijama Ben 4 rollos, cada uno con un peso total y el mismo rendimiento por metro para un número de unidades debido a que se está haciendo en torno a una misma talla, por lo que se realizó el cálculo con base en un peso total de todos los rollos disponibles y se obtuvo los siguientes resultados:

✓ Pijama Joel

Tabla 56 Metros de materia prima disponibles para modelo Joel

Metros disponibles / Modelo Joel						
Talla	Rollos utilizados para top / tipo			Peso total (Kg)	Metros / (Kg)	Metros disponibles
	r1	r2	r3			
	Peso (Kg)	Peso (Kg)	Peso (Kg)			
	31,09	26,81	25,32	83,22	3	249,66
M	Rollos utilizados para pantalón / tipo			Peso total (Kg)	Metros / (Kg)	Metros disponibles
	r1	r2	r3			
	Peso (Kg)	Peso (Kg)	Peso (Kg)			
	28,70	22,54	20,32	71,56	3	214,68
Total, metros disponibles						464,34

Fuente: Elaboración propia

✓ Pijama Ben

Tabla 57 Metros de materia prima disponibles para modelo Ben

Metros disponibles / Modelo Ben							
Talla	Rollos utilizados para top / tipo				Peso total (Kg)	Metros / (Kg)	Metros disponibles
	r1	r2	r3	r4			
	Peso (Kg)	Peso (Kg)	Peso (Kg)	Peso (Kg)			
M	32,32	33,28	32,22	32,46	130,28	3	390,84
Rollos utilizados para pantalón / tipo							

r1	r2	r3	r4	Peso total (Kg)	Metros / (Kg)	Metros disponibles
Peso (Kg)	Peso (Kg)	Peso (Kg)	Peso (Kg)			
31,46	31,14	30,48	30,90	123,98	3	371,94
Total, metros disponibles						762,78

Fuente: Elaboración propia

Caso de estudio B

Para el cálculo de metros de materia prima disponible por unidad, se consideró de igual manera el número de rollos y el peso de cada uno de estos para un lote en específico, es decir tanto para el cojín básico como para el cojín silla se utilizó 2 rollos, con el rendimiento de 3,3 unidades por metro para el cojín básico y 3,1 unidades por metro para el cojín silla, por lo que se realizó el cálculo con base en un peso total de todos los rollos disponibles y se obtuvo los siguientes resultados:

✓ Cojín básico

Tabla 58 Metros de materia prima disponibles para Cojín Básico / Ladrillo

Metros disponibles / Cojín básico					
Modelo	Rollos utilizados		Peso total (Kg)	Metros / (Kg)	Total, metros disponibles
	r1	r2			
	Peso (Kg)	Peso (Kg)			
Ladrillo	92,65	95,55	188,20	3,3	621,06

Fuente: Elaboración propia

✓ Cojín silla

Tabla 59 Metros de materia prima disponibles para Cojín Silla / Lino

Metros disponibles / Cojín silla					
Modelo	Rollos utilizados		Peso total (Kg)	Metros / (Kg)	Total, metros disponibles
	r1	r2			
	Peso (Kg)	Peso (Kg)			
Lino	74,12	76,44	150,56	3,1	466,74

Fuente: Elaboración propia

4.5.9. Demanda por modelo

Caso de estudio A

✓ Pijama Joel

La demanda considerada para la ejecución del modelo es de 185 unidades correspondientes a las órdenes de producción del año 2020 del modelo de pijama Joel, talla M y en el que se basan los cálculos previos correspondiente a este modelo.

✓ **Pijama Ben**

La demanda considerada para la ejecución del modelo es de 195 unidades correspondientes a las órdenes de producción del año 2020 del modelo de pijama Ben, talla M y en el que se basan los cálculos previos correspondiente a este modelo.

Caso de estudio B

✓ **Cojín básico**

La demanda considerada del cojín básico / Ladrillo es de 13 lotes, cada lote conformado por 6 unidades, por lo que se toma en cuenta un total de 78 unidades.

✓ **Cojín silla**

La demanda considera del cojín silla / Lino es de 2 lotes, con un número total de 86 unidades

4.5.10. Factores de conversión

✓ **Factor de conversión de residuos**

En el libro de Subramanian (2015) se muestra las emisiones de CO₂ de diferentes fibras textiles en función del consumo de energía, en este caso se tomó como referencia el valor del algodón (8 kg/kg de fibra), se consideró el valor total en kilogramos de desperdicio por conjunto (0,0297) y se obtuvo el valor de 0,2376 kg cO₂ / unidad como factor de conversión de residuos.

✓ **Factor de conversión de energía hidráulica**

Según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) (2015), el factor de emisión en electricidad es de 0.615 KgCO₂/kWh.

✓ **Factor de conversión de energía fotovoltaica**

El factor de conversión de energía fotovoltaica se calculó con base en un rango establecido en un estudio realizado por Mariska (2013), donde se promedió el límite inferior (15,8 g CO₂-eq/kWh) con el límite superior (38,1 g CO₂-eq/kWh), y este equivalente a kg, donde se obtuvo el valor de 0,0265 Kg CO₂/kWh.

4.5.11. Índice de accidentabilidad

Se estableció el índice de accidentabilidad dentro de las MiPymes textiles en Ecuador a partir del histórico de accidentes ocurridos en las empresas registradas en el Seguro General de Riesgos del Trabajo según (IESS, 2022), donde se promedió el número de accidentes ocurridos por hora de trabajo desde el 2013 hasta el 2021. Según recomendación del Ing. Pablo Flores Sigüenza. PhD, integrante del grupo Industrial Management and Innovation Research (Imagine) se consideró 230 días laborables al año y 8 horas de trabajo por día para determinar el índice de accidentabilidad. Es importante mencionar, que los datos de accidentabilidad a las 19 pm y 20 pm en el año 2020 no se

encuentran disponibles por factores externos debidos a la emergencia sanitaria. Sin embargo, los mismos se determinaron al realizar un promedio de los accidentes suscitados en dicho momento.

Tabla 60 Índice de accidentabilidad dentro de las MiPymes textiles en Ecuador

Año Horas	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Promedio accidentes	Promedio accidentes hora
	12am	90	2	1	2	1	3	3	1	1	11,56
1am	1	4	3	4	1	1	1	1	2	2,00	0,000120
2am	3	3	2	7	2	1	1	1	1	2,33	0,000140
3am	1	5	1	17	3	1	2	5	3	4,22	0,000254
4am	2	9	5	14	4	2	2	23	9	7,78	0,000469
5am	8	10	10	13	11	9	2	8	12	9,22	0,000556
6am	6	19	8	15	19	4	16	5	11	11,44	0,000691
7am	5	13	16	17	17	10	19	34	16	16,33	0,000986
8am	11	24	10	11	17	14	15	7	13	13,56	0,000818
9am	9	14	18	9	19	17	7	8	9	12,22	0,000738
10am	11	7	17	9	16	10	14	8	9	11,22	0,000677
11am	4	8	11	13	15	15	12	5	7	10,00	0,000603
12pm	5	14	18	8	7	10	8	10	5	9,44	0,000570
13pm	6	13	9	8	17	7	13	6	12	10,11	0,000610
14pm	7	13	17	8	18	7	8	3	8	9,89	0,000597
15pm	9	7	12	7	7	15	9	2	8	8,44	0,000509
16pm	8	6	7	6	6	17	7	2	7	7,33	0,000442
17pm	5	2	3	3	7	10	6	1	8	5,00	0,000301
18pm	2	6	5	2	2	3	3	2	6	3,44	0,000208
19pm	1	3	1	1	5	5	7	4	5	3,50	0,000211
20pm	2	2	7	2	5	6	4	4	4	4,00	0,000241
Promedio										8,24	0,000497

Fuente: Elaboración propia y basada en (IESS, 2022).

Días medios perdidos por accidente laboral

En el estudio de (Calisto, 2014) se determinó el promedio de días perdidos por accidente laboral, donde se analizó 704,556 empresas de Ecuador con 6,654,241 personas activas, las cuales presentaron un total de 15,756 accidentes con incapacidad temporal en el año

2013. A partir de la información dada se obtuvo una media de 30,5 días perdidos por accidentes de incapacidad temporal.

4.5.12. Factor de penalización por no utilizar equipo de protección personal

El índice de penalización se estableció a partir del estudio de Durán & Guevara (2021), donde se menciona que dentro de 240 MiPymes textiles de Tungurahua se suscitaron 281 accidentes laborales, los cuales 138 fueron por la falta o inadecuado uso de equipos de protección personal. Por lo tanto, por recomendación del Ing. Pablo Flores. PhD y el grupo Imagine se procedió a cuantificar la tasa penalización de accidentabilidad a partir del porcentaje de empleados que no usen equipos de protección personal en las empresas caso de estudio.

Tabla 61 Factor de penalización por no utilizar equipo de protección personal

Factor de penalización por no utilizar equipo de protección personal			
% del personal que no usa EPP			Factor de penalización
0%	-	10%	0,05
10%	-	20%	0,1
20%	-	30%	0,15
30%	-	40%	0,2
40%	-	50%	0,25
50%	-	60%	0,3
60%	-	70%	0,35
70%	-	80%	0,4
80%	-	90%	0,45
90%	-	100%	0,5

Fuente: Elaboración propia

5. Capítulo IV: Resultados y discusión

Para la obtención de resultados el modelo matemático se desarrolla en el lenguaje de programación GAMS, con el fin de evaluar diferentes escenarios de las empresas caso de estudio mediante el método e-constrain y la función LP, la cual pretende maximizar y minimizar las variables que conforman las funciones objetivo.

5.1. Resultados de la empresa caso de estudio A

5.1.1. Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica

Para el análisis del escenario actual de la empresa caso de estudio se considera datos de la demanda real, cantidad de residuos producidos, materia prima disponible, tiempo estándar de producción, obreros que ocupan equipos de protección personal, kWh utilizados, materia prima utilizada, costo de producción con energía hidráulica y precio de venta por modelo, para así proceder a ejecutar el código en el lenguaje de programación antes mencionado (Anexo 1) con el fin de maximizar la utilidad, minimizar el impacto ambiental y el número de accidentes. Es importante recalcar que los datos del tiempo estándar de producción y la energía a utilizar se centran únicamente en el subproceso de confección, mientras que el resto de datos son tomados de manera general, es decir se considera la totalidad de los subprocesos involucrados en la elaboración del modelo.

Tabla 62 Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica

Categoría	Unidades	Valor		Restricción	
		Joel	Ben	Joel	Ben
Materia prima utilizada	m	425,5	664,95	464,34	762,78
Residuos	Kg	3,256	5,791	46,434	76,278
Unidades producidas	Unidad	185	195	185	195
Capacidad de bodega	Unidad	380		500	
Horas de producción	Hr	145,273		208	
Utilidad	\$		5010,35		
CO2	Kg		128,509		
Accidentes	Unidad		0,878		
Costo del accidente	\$		567,94		

Fuente: Elaboración propia

La tabla 62 se encuentra conformada en la primera columna por las unidades de las restricciones y funciones objetivos. La segunda columna hace referencia a los resultados de la producción de los pijamas Joel y Ben. Finalmente, la tercera columna se encuentran los valores de la restricción de cada ecuación.

Referente a la información presente en la tabla 62 se observan los siguientes resultados:

- La utilidad de la producción de 185 y 195 pijamas Joel y Ben en el proceso de confección a partir de uso de energía hidráulica al 100% es de \$5010,35, donde se consideró que el 33% de los obreros usaron equipos de protección personal en el desarrollo de sus actividades.
- Se observa que la emisión de dióxido de carbono fue de 128.509 Kg, valor que se puede disminuir notablemente al utilizar energías renovables para llevar a cabo el subproceso de confección, de tal manera que a largo plazo el pago por la tasa de contaminación y emisión próxima a implementarse en Ecuador se reduzca significativamente.
- Al considerar que el 33% de los empleados usan equipos de protección personal se determinó un total de 0.878 accidentes durante el proceso de confección para cumplir con la demanda establecida. Dicho valor afecta directamente a la utilidad de la empresa ya que el costo de 0.878 accidentes es de \$567.94.

5.1.2. Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 50% y 100%

Para el análisis del segundo escenario se utilizan los datos de la sección 5.1.1, en el cual se considera la alternativa de implementar energía fotovoltaica para cubrir con el 100% y 50% de la producción en el desarrollo del modelo de optimización (Anexo 2).

Tabla 63 Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 100%

Categoría	Unidades	Valor		Restricción	
		Joel	Ben	Joel	Ben
Materia prima utilizada	m	425,5	664,95	464,34	762,78
Residuos	Kg	3,256	5,791	46,434	76,278
Unidades producidas energía hidráulica	Unidad	0	0	185	195
Unidades producidas energía Fotovoltaica	Unidad	185	195		
Energía fotovoltaica utilizada	kWh	205,462		229,8	
Capacidad de bodega	Unidad	380		500	

Horas de producción	Hr	145,273	208
Utilidad	\$	5010,35	
CO2	Kg	7,687	
Accidentes	Unidad	0,878	
Costo del accidente	\$	567,94	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 64 Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 50%

Categoría	Unidades	Valor		Restricción	
		Joel	Ben	Joel	Ben
Materia prima utilizada	m	425,5	664,95	464,34	762,78
Residuos	Kg	3,256	5,791	46,434	76,278
Unidades producidas energía hidráulica	Unidad	15	195		
Unidades producidas energía Fotovoltaica	Unidad	170	0	185	195
Energía fotovoltaica utilizada	kWh	114,8		114,8	
Capacidad de bodega	Unidad	380		500	
Horas de producción	Hr	145,273		208	
Utilidad	\$			5010,35	
CO2	Kg			61,001	
Accidentes	Unidad			0,878	
Costo del accidente	\$			567,94	

Fuente: Elaboración propia

Concerniente a las tablas 63 y 64 se exponen los siguientes resultados:

- Se observa que el valor de la utilidad es la misma debido a que los equipos de generación de energía fotovoltaica no se encuentran amortizados en su totalidad, es decir el precio de producción al utilizar energía fotovoltaica es similar al costo de producción con energía hidráulica.
- La emisión de CO2 al producir 185 y 195 pijamas Joel y Ben con el 100% de energía fotovoltaica es de 7.68 kg, es decir disminuyó en un 94.02%. Por el otro lado, al usar energía hidráulica para producir 15 pijamas Joel, 195 pijamas Ben y 170 pijamas Joel con energía fotovoltaica se emitió 61.001 kg de CO2, donde se observa una disminución del 47.47% en comparación al primer escenario

5.1.2.1. Resultados del modelo considerando el uso de equipos de protección personal con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 50% y 100%

Dentro de este escenario se evalúa el modelo considerando dos tipos de energía y el uso de equipos de protección personal donde se genera tres alternativas diferentes, pesimista, normal y optimista en cuanto a la proporción del personal que haga uso de los mismos. Es importante recalcar que se utilizan los datos de la sección anterior.

Tabla 65 Resultados del modelo considerando el uso de equipos de protección personal con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 50% y 100%

Concepto	Unidad	Esc.	Esc.	Esc.
		optimista Epp 90%	normal Epp 33%	pesimista Epp 0%
Utilidad	\$	5136,56	5010,35	4749,25
Accidentes	unidad	0,683	0,878	0,976
CO2 (50%)	Kg	61,001	61,001	61,001
CO2 (100%)	Kg	7,68	7,68	7,68
Costo del accidente	\$	441,73	567,94	631,46

Fuente: Elaboración propia

La tabla 65 se encuentra conformada por datos que evidencian la penalización por no usar equipos de protección personal en el subproceso de confección al utilizar energía hidráulica y fotovoltaica, donde se puede destacar lo siguiente:

- Existe relación directa entre el uso de equipos de protección personal y la utilidad debido a que, al hacer un mayor uso de éstos, disminuye el índice de accidentabilidad y por lo tanto, se obtendrá mayor utilidad para la empresa, es decir, si el 90% del personal usa equipos de protección personal, el número de accidentes se reduce a 0,683 y se obtiene una utilidad de \$5136,56; al contrario de no usar dichos equipos, el número de accidentes incrementa a 0,976 y la utilidad se reduce en un 7,54%.

5.1.3. Resultados del modelo una vez amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica

Para el análisis del cuarto escenario se usan los datos de la sección 5.1.2, sin embargo, el costo de producción por modelo varía, ya que se considera el equipo de generación de

energía fotovoltaica amortizado, a su vez muestra resultados en tres escenarios (optimista, normal y pesimista) de uso de equipos de protección personal.

Tabla 66 Resultados del modelo una vez amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica considerando el uso de equipos de protección personal con utilización de energía fotovoltaica al 100%

Concepto	Unidad	Esc. optimista	Esc. normal	Esc. pesimista
		Epp 90%	Epp33%	Epp 0%
Utilidad	\$	5974,41	5848,2	5364,4
Accidentes	unidad	0,033	0,228	0,976
CO2 (100%)	Kg	7,68	7,68	7,68
Costo del accidente	\$	21,04	147,24	631,46

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67 Resultados del modelo una vez amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica considerando el uso de equipos de protección personal con utilización de energía fotovoltaica al 50%

Concepto	Unidad	Esc. optimista	Esc. normal	Esc. pesimista
		Epp 90%	Epp33%	Epp 0%
Utilidad	\$	5924,29	5798,09	5734,85
Accidentes	unidad	0,033	0,228	0,976
CO2 (50%)	Kg	61,01	61,01	61,01
Costo del accidente	\$	21,03	147,24	210,34

Fuente: Elaboración propia

Según las tablas 66 y 67 se puede señalar lo siguiente:

- Existe un aumento en la utilidad una vez amortizado el equipo de generación de energía, debido a que el costo de producción no incluye el costo de electricidad; a su vez se evidencia que al producir con energía fotovoltaica al 100 % genera mayor utilidad en un 0,9% y menor emisión de CO2 en un 87,5%, que producir con energía fotovoltaica al 50%.
- Cabe recalcar que la utilidad, número de accidentes y la emisión tienen una relación positiva directamente proporcional con la demanda.

5.2. Resultados de la empresa caso de estudio B

Para el análisis de escenarios del caso de estudio B, la ejecución del modelo en GAMS es similar al caso de estudio A, sin embargo, se utiliza datos obtenidos de la caracterización del caso de estudio en mención ya que éste se centra en el subproceso de acabados, donde los residuos representan pérdidas insignificantes para la empresa.

5.2.1. Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica

Se analiza el presente escenario en el proceso de acabados a partir de la producción de cojines tipo básico, silla y el uso de energía hidráulica, con el fin de maximizar la utilidad, minimizar el impacto ambiental y el número de accidentes. Es importante mencionar que el ritmo de la producción de la empresa caso de estudio B depende en su gran mayoría del subproceso de confección considerado cuello de botella.

Tabla 68 Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica

Categoría	Unidades	Valor		Restricción	
		Básico	Silla	Básico	Silla
Materia prima utilizada	m	70,2	86	621,06	466,74
Unidades producidas	Unidad	78	86	78	86
Capacidad de bodega	Unidad	164		750	
Horas de producción	Hr	8,35		208	
Utilidad	\$		3255,97		
CO2	Kg		1,60		
Accidentes	Unidad		0,045		
Costo del accidente	\$		29,024		

Fuente: Elaboración propia

Los datos presentes en la tabla 68 resaltan lo siguiente:

- La producción de 78 y 86 cojines tipo básico y silla proporcionan una utilidad de \$ 3255,97 al utilizar 100% energía hidráulica dentro del proceso de acabados.
- La emisión de CO2 es de 1.60 kg debido a que dentro del subproceso de acabados el consumo eléctrico no es tan representativo como en el proceso de confección en el caso de estudio A.

- El uso de equipos de protección personal por parte del 80% de trabajadores estima que durante el desarrollo de las actividades pueden suceder 0.045 accidentes, los cuales representan un costo de \$29.02 para la empresa caso de estudio.
- La utilidad, CO2 y el número de accidentes presentan una relación directa positiva ya que si la demanda incrementa los valores de las funciones objetivo aumentan proporcionalmente.

5.2.2. Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica

Se presentan los resultados de la aplicación del modelo matemático que considera la alternativa de implementar energía fotovoltaica en el subproceso seleccionado.

Tabla 69 Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 100%

Categoría	Unidades	Valor		Restricción	
		Básico	Silla	Básico	Silla
Materia prima utilizada	m	70,2	86	621,06	466,74
Unidades producidas energía hidráulica	Unidad	0	0	185	195
Unidades producidas energía Fotovoltaica	Unidad	78	86		
Energía fotovoltaica utilizada	kWh	2,61		63,4	
Capacidad de bodega	Unidad	164		750	
Horas de producción	Hr	8,35		208	
Utilidad	\$		3255,97		
CO2	Kg		0,07		
Accidentes	Unidad		0,045		
Costo del accidente	\$		29,024		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70 Resultados del modelo con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 50%

Categoría	Unidades	Valor		Restricción	
		Básico	Silla	Básico	Silla
Materia prima utilizada	m	70,2	86	621,06	466,74
Unidades producidas energía hidráulica	Unidad	0	0	185	195
Unidades producidas energía Fotovoltaica	Unidad	78	86		
Energía fotovoltaica utilizada	kWh	2,61		31,6	
Capacidad de bodega	Unidad	164		750	

Horas de producción	Hr	8,35	208
Utilidad	\$	3255,97	
CO2	Kg	0,07	
Accidentes	Unidad	0,045	
Costo del accidente	\$	29,024	

Fuente: Elaboración propia

La información presente en las tablas 69 y 70 muestran los siguientes resultados:

- La utilidad en los dos escenarios es de \$ 3255.97 después de considerar el costo de 0.045 accidentes y uso de equipos de protección personal por parte del 80% de los empleados.
- Se observa que la emisión de CO2 es de 0.07 kg en los dos escenarios, debido a que toda la demanda se produce con energía fotovoltaica; es decir que al realizar el proceso de confección con energía renovable al 50% y 100% se hace uso de 2.61 kWh de los 31.6 y 63.4 kWh instalados consecutivamente.

5.2.2.1. Resultados del modelo considerando el uso de equipos de protección personal con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica

Los resultados de la aplicación del modelo matemático que considera la utilización de dos tipos de energía y el uso de equipos de protección personal, se resumen en siguiente tabla.

Tabla 71 Resultados del modelo considerando el uso de equipos de protección personal con utilización de energía hidráulica y fotovoltaica al 100%

Concepto	Unidad	Esc.	Esc.	Esc.
		optimista Epp 80%	normal Epp50%	pesimista Epp 0%
Utilidad	\$	3282,58	3277,74	3272,9
Accidentes	unidad	0,004	0,011	0,019
CO2	Kg	0,07	0,07	0,07
Costo del accidente	\$	2,41	7,25	12,09

Fuente: Elaboración propia

La información presente en la tabla 71 muestra los siguientes resultados:

- Se consideró la producción del proceso de acabados con instalación de energía fotovoltaica al 100% donde se evidencia que el uso de equipos de protección personal en el escenario optimista presenta una utilidad de \$ 3282,58 en comparación a los escenarios normal y pesimista con una utilidad de \$ 3277,74 y \$

3272,9 respectivamente. Se observa que, a mayor índice de uso de equipo de protección personal, mayor es el beneficio para la empresa.

5.2.3. Resultados del modelo una vez amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica

Los resultados de la aplicación del modelo matemático que considera el costo de producción por modelo con el equipo de generación de energía fotovoltaica amortizado se resumen en la siguiente tabla

Tabla 72 Resultados del modelo una vez amortizado el equipo de generación de energía fotovoltaica al 100%

Concepto	Unidad	Esc. optimista	Esc. normal	Esc. pesimista
		Epp 80%	Epp 50%	Epp 0%
Utilidad	\$	3264,25	3259,41	3254,58
Accidentes	unidad	0,041	0,049	0,056
CO2	Kg	0,07	0,07	0,07
Costo del accidente	\$	26,6	31,43	86,28

Fuente: Elaboración propia

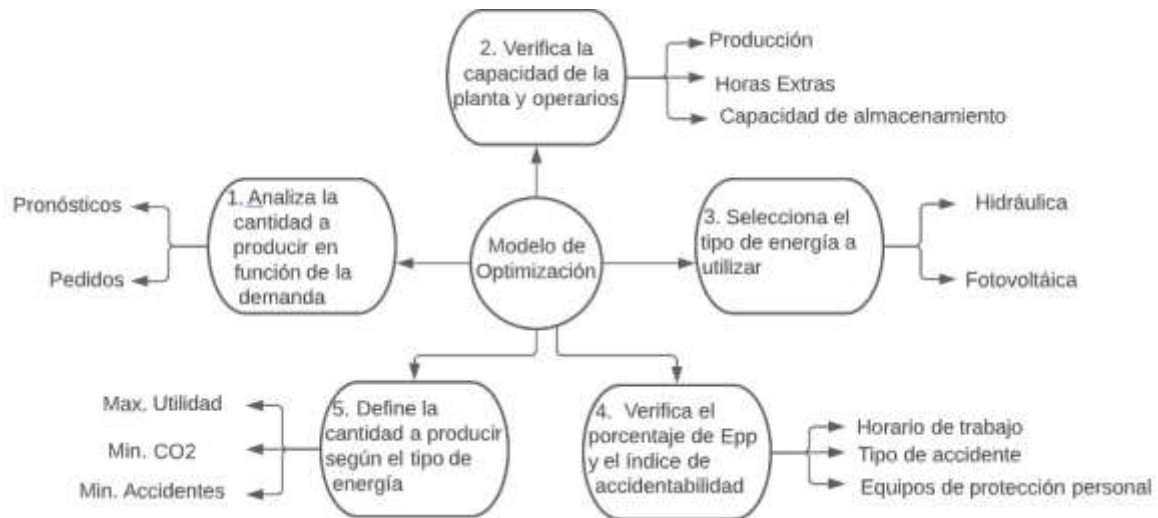
La información presente en la tabla 72 muestra los siguientes resultados:

- Al considerar la producción con instalación del 100% de energía fotovoltaica, el costo de producción es similar a la instalación al 50 %, debido a que la demanda se satisface sin uso de energía hidráulica en el subproceso de acabados.
- El subproceso de acabados al requerir de una menor cantidad kWh para el desarrollo de sus actividades, es recomendable instalar energía fotovoltaica al 50% debido al menor costo de implementación y mismo beneficio.

5.3. Fases de decisión del modelo

En la figura 6 se presenta la estructura en el cual se rige el modelo de optimización y a continuación se describen cada una de estas.

Figura 6 Fases de decisión del modelo



Fuente: Elaboración propia

1. **Cantidad de unidades a producir en función de la demanda:** el modelo determina la cantidad de unidades a producir según órdenes de pedidos introducidos en el sistema y pronósticos con base en datos históricos.
2. **Capacidad de la planta y operarios:** Al calcular la cantidad de unidades a producir el modelo toma en cuenta la restricción de la capacidad de la planta en función de horas de producción, mano de obra y capacidad de bodega.
3. **Tipo de energía a utilizar:** Para determinar el tipo de energía a utilizar (hidráulica y/o fotovoltaica), el modelo toma en cuenta la capacidad de almacenamiento de energía de los paneles, demanda y los kWh útiles necesarios para la producción por unidad.
4. **Porcentaje de uso de Epp e Índice de accidentabilidad:** El modelo considera el índice de accidentabilidad de acuerdo al porcentaje de uso de equipos de protección personal del personal en el desarrollo de las actividades.
5. **Cantidad de unidades a producir según el tipo de energía:** Con base en los puntos anteriormente expuestos el modelo define la cantidad de unidades a producir con el tipo de energía recomendado, con el fin de maximizar la utilidad, minimizar la generación de CO2 y minimizar el número de en la producción.

6. Conclusiones y propuestas de trabajos futuros

Una vez estructurado y ejecutado el modelo se consideran los puntos más relevantes:

El modelo de optimización multiobjetivo basado en indicadores de sustentabilidad, considerando aspectos económicos, sociales y ambientales, permite mejorar los niveles de desempeño y ayuda en la toma de decisiones dentro de las MIPYMES.

El diseño del modelo de optimización se realizó en base a los procesos de mayor complejidad dentro de las empresas casos de estudio, determinados a partir de la Cadena de valor de Porter, el Análisis del estado de resultados y la Matriz de ponderación, con el fin de conocer en qué área existe una mayor aplicabilidad de indicadores, lo cual en su totalidad permitió una mejor integración de los mismos a las variables de decisión para brindar solidez al modelo.

El análisis y depuración de los 211 indicadores a partir del uso de herramientas de AHP y PCA en los dos casos de estudio permitió contrastar de manera efectiva la selección de los indicadores potenciales que mejor se ajustaron según la actividad económica desarrollada en las empresas; además, el uso de estas metodologías también facilitó conocer el comportamiento de la integración variable de indicadores de acuerdo a la naturaleza y estado actual, permitiendo así generar cada vez un nuevo modelo que se adapte a las necesidades económicas, ambientales y sociales presentes.

En lo concerniente al diseño del modelo se consideró la situación actual interna de los casos de estudio, enfocado en la evaluación de diferentes alternativas que permitan alcanzar los objetivos propuestos mediante la integración de aspectos de sustentabilidad como el cambio de políticas de nivel de desperdicio, uso de equipos de protección personal, cantidad de materia prima disponible y capacidad de almacenamiento. De esta manera, se puede maximizar la utilidad y, minimizar el impacto ambiental y el índice de accidentabilidad.

Los indicadores presentan relación directa con los niveles de sustentabilidad de las empresas casos de estudio, debido a que el incremento del índice de producción ocasiona un aumento proporcional de la utilidad, el número de accidentes y la emisión de CO₂.

Se evidencia que, tanto para el primer escenario como para el segundo, la utilidad generada es la misma, sin embargo, la producción de CO₂ se redujo en un 94,03% para el caso de

estudio A y un 95,63 % para el caso de estudio B, debido a la implementación de energía fotovoltaica en comparación al uso total de energía hidráulica.

El tercer escenario en comparación con el segundo representa un mayor beneficio económico para la empresa, debido a que el equipo de generación de energía se encuentra amortizado. Sin embargo, la utilidad se encuentra directamente relacionado con el número de accidentes ocurridos y el porcentaje de uso de equipos de protección personal dentro de las actividades que conforman los subprocesos seleccionados.

La implementación de energías alternas a subprocesos (acabados) no representa un mayor beneficio económico y ambiental, debido a que el uso de energía y generación de residuos de materia prima son poco significativos en comparación a otros subprocesos, por lo tanto, no genera un impacto relevante en la empresa y no sería recomendable implementar en subprocesos pequeños.

Con los resultados obtenidos en este trabajo de titulación es importante mencionar nuevas interrogativas para el avance científico - técnico futuro:

Considerar el diseño del modelo de optimización sustentable para MiPymes con diferente tipo de actividad económica.

Implementar otros tipos de energía dentro del modelo de optimización que permita evaluar diferentes escenarios y comparar con los resultados de los obtenidos.

Incluir un mayor número de variables y parámetros relacionados a los indicadores que permitan obtener resultados más ajustados a la realidad.

7. Referencias

- Acevedo Garcés, F. de J. (2016). Diseño de una instalación solar fotovoltaica con capacidad para 3 kilovatios. *instname:Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/11352>
- Angulo, N., & Sosa, B. (Eds.). (2012). Análisis sectoriales tecnologías de la información. 6, 8.
- ASALE, R.-, & RAE. (2021). *Optimizar | Diccionario de la lengua española*. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/optimizar>
- Benites Gutierrez, L. A., Ruff Escobar, C., Ruiz Toledo, M., Matheu Pérez, A., Inca Alayo, M., & Juica Martínez, P. (2020). Análisis de los factores de competitividad para la productividad sostenible de las PYMES en Trujillo (Perú). *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 29, 208-236. <https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.3513>
- Calisto, G. (2014). *Análisis estadístico de accidentalidad laboral del Ecuador y comparación con la accidentalidad laboral de Colombia del año 2013* [BachelorThesis, Quito: USFQ, 2014]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/3549>
- Campo, E. A., Cano, J. A., Gómez-Montoya, R. A., Campo, E. A., Cano, J. A., & Gómez-Montoya, R. A. (2020). Optimización de costos de producción agregada en empresas del sector textil. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(3), 461-475. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000300461>
- Caribe, C. E. para A. L. y el. (2020). *Enfrentar los efectos cada vez mayores del COVID-19 para una reactivación con igualdad: Nuevas proyecciones*. CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/45782-enfrentar-efectos-cada-vez-mayores-covid-19-reactivacion-igualdad-nuevas>
- Carro Suárez, J., Reyes Guerra, B., Rosano Ortega, G., Jaime, & Pérez Armendáriz, B. (2017). [Http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-49992017000100131&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0188-49992017000100131&lng=es&nrm=iso&tlng=es). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(1), 131-139. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.01.12>
- CEDIA. (2021). *Resil-TEX – Modelo resiliente de distribución de planta para MIPYMES con un enfoque en productividad y seguridad ocupacional*. 25.
- Cevallos Tapia, C. P. (2020). *Desarrollo de un algoritmo evolutivo híbrido para la optimización de una cadena de suministro de dos empresas de ensamblaje—Buscar con Google*. 186.

- Clavijo, I. J., & Espinoza, R. A. (2022). *Sistemas de costos por órdenes de producción y su incidencia en la rentabilidad de las pequeñas empresas de la industria textil en la ciudad de Guayaquil*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/18294>
- Daza Idrovo, C. R. (2015). *Internet connection demand for IoT optimization approach using multi-objective evolutionary algorithm trough UAV'S network*.
- Durán, S. G., Azogues, B. M., & Guevara, J. E. R. (2021). Los accidentes laborales como factor generador de costos en las MIPYMES del sector textil de la provincia de Tungurahua. *593 Digital Publisher CEIT*, 6(2), 242-251.
- Durán, S. G., & Guevara, J. E. R. (2021). Los accidentes laborales como factor generador de costos en las MIPYMES del sector textil de la provincia de Tungurahua. *593 Digital Publisher CEIT*, 6(2), 242-251.
- Farfán Castro, K. E. (2021). *La repercusión del incremento de desempleo dadas por las Pymes durante la pandemia del COVID - 19 En Ecuador*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/54607>
- Gagliardo, A., & Corsano, G. (2011). Un modelo MILP multiperíodo para el diseño de una cadena de suministro de bioetanol considerando sustentabilidad. *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, 3(6), 209-225.
- García Gómez, F. (2020). *Economía circular en la industria de la moda: Avances y valorización del PET. Análisis de la huella de carbono*. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/19160>
- García-Alvarez, D., & Fuente, M. J. (2011). Estudio comparativo de técnicas de detección de fallos basadas en el Análisis de Componentes Principales (PCA). *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 8(3), 182-195. <https://doi.org/10.1016/j.riai.2011.06.006>
- Hernández-Altamirano, H. E. (2020). Cultura organizacional como estrategia de fidelización y valor sostenible en las microempresas del Sector Textil. *Revista Científica FIPCAEC (Fomento de la investigación y publicación en Ciencias Administrativas, Económicas y Contables)*. ISSN: 2588-090X. *Polo de Capacitación, Investigación y Publicación (POCAIP)*, 5(5), 268-278. <https://doi.org/10.23857/fipcaec.v5i5.196>
- Huamaní, G. T. H., & Tejada, R. E. (2015). Modelo de aplicación de AhP para seleccionar editor de contenidos de objetos de aprendizaje (modelo PAJOA-ECO). *Industrial data*, 18(2), 121-125.
- IESS. (2022). *IESS Seguro General de Riesgos de Trabajo I Principal*. <https://sart.iness.gob.ec/DSGRT/portal/index.html>

- INEC. (2019). Home – Instituto Nacional de Estadística y Censos. *INEC*. https://www.uasb.edu.ec/observatorio-pyme/wp-content/uploads/sites/6/2021/04/faq_53.pdf
- INEC. (2021). *Información Estadística* [Información]. INEC. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/EOE/eoeindice.htm>
- Jordán, J. (2016, septiembre 28). *Construcción escenarios*. Global Strategy – Universidad de Granada. <https://global-strategy.org/la-tecnica-de-construccion-y-analisis-de-escenarios-en-los-estudios-de-seguridad-y-defensa/>
- Luna-Altamirano, K. A., Sarmiento-Espinoza, W. H., Calle-Masache, O. R., & Ramón-Poma, G. M. (2021). Modelo de sustentabilidad para la reactivación de las Mipymes textiles de la ciudad de Cuenca-Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 7(1), 325-337. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i1.1645>
- (Mariska) de Wild-Scholten, M. J. (2013). Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 119, 296-305. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2013.08.037>
- Mavrotas, G. (2012). Generation of efficient solutions in Multiobjective Mathematical Programming problems using GAMS. Effective implementation of the ϵ -constraint method. *Lecturer, Laboratory of Industrial and Energy Economics, School of Chemical Engineering. National Technical University of Athens*.
- Mejía Trejo, J. (2017). Modelo Conceptual de Innovación por Negocios Electrónicos. Hacia un Marco de Referencia para las PyMES. *Entreciencias: Diálogos En La Sociedad Del Conocimiento*, 5(15), Art. 15. <http://dx.doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2017.15.62590>
- Mena, S. (2020). *Análisis de competitividad en las Pymes de la industria manufacturera de lencería en el Distrito Metropolitano de Quito en el período 2014-2019* [Master's Thesis]. Quito, EC: Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
- Mendoza Zuta, J. C. (2016). Aplicación de balanced scorecard en el proceso de gestión de la empresa procesos textiles e.i.r.l. *Universidad Nacional de Trujillo*. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3586>
- Ministerio de Energía y Minas—MINEM. (2015). <https://www.gob.pe/minem>
- Montenegro, J. A. (2017). *BOOST INVERTER PARA UNA APLICACION FOTOVOLTAICA* (2017).
- Palacios Gallegos, A. I. (2021). *Propuesta de utilización del Sustainability Balanced Scorecard como herramienta de gestión de la sostenibilidad empresarial para la*

mejora de la competitividad de una pyme peruana.
<https://repositorio.esan.edu.pe//handle/20.500.12640/2826>

- Pineda Villegas, J. J. (2020). *Análisis del capital de trabajo de las pymes de producción textil en San Pedro de Pelileo caso: Empresa Heltoons* [B.S. thesis]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Pishvaei, M., Torabi, S., & Razmi, J. (2012). "Modelo de programación matemática difusa basado en la credibilidad para el diseño de logística verde bajo incertidumbre" (Vol. 62).
- Reino Chérrez, F. S. (2022). *Implementing time driven activity based costing (TDABC) in micro, small and medium enterprises (MSMES): A case study in the textile industry*.
- Saavedra, M. L., & Hernández, Y. (2012). Caracterización e importancia de las MIPYMES en Latinoamérica: Un estudio comparativo. *Actualidad contable faces*, 11(17), 122-134.
- Sarango-Lalangui, P., García, J. Á., Jaramillo, S. R., & Santos, J. L. S. (2017). SOSTENIBILIDAD EN EL CONTEXTO DE LAS PYMES EN ECUADOR. *Anais do Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação-ciki*, 1(1).
- Siguenza, L. (2020). *Incorporación de conceptos de sustentabilidad a los modelos de gestión de las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas textiles (SUMA)*.
- Subramanian, M. (2015). *Handbook of Sustainable Apparel Production*. CRC Press.
- Trifan, A., Brătucu, G., & Madar, A. (2015). Optimization model for an assortment structure of textile confections. *DE REDACTIE*, 365.
- Urco, C. C., Salinas, J. G., & Castillo, D. (2019). Aproximación del modelo CAGE para la internacionalización de los productos textiles del Ecuador. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*, 5, 9-37.
- Useche, M. C., Lacres, L. M. V., Vázquez, F. I. S., & Gavilanes, M. E. O. (2021). Fórmula Estratégica Empresarial para Pymes en Ecuador ante el Covid-19. *Universidad & Empresa*, 23(40), 4.
- Varsei, M., Soosay, C., Fahimnia, B., & Sarkis, J. (2014). Framing sustainability performance of supply chains with multidimensional indicators. *Supply Chain Management: An International Journal*, 19(3), 242-257.
<https://doi.org/10.1108/SCM-12-2013-0436>
- Villacís Collantes, A. E. (2019). *Aplicación del modelo QFD para el análisis de satisfacción del cliente. Caso: Nunandes*.
<http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/17300>

8. Anexos

8.1. Ecuación para el cálculo de paneles

$$n_{\text{paneles}} = \frac{\text{energía útil necesaria}}{\text{potencia de los paneles} \times \text{horas de sol pico desfavorables} \times \text{pérdidas de conexión}}$$

8.2. Código para la ejecución del modelo – Energía hidráulica

Sets

m modelos /ben, joel/
 *e energía /H, F/
 counter /C1*C15/;

Table

A(m,*) Tabla de la cantidad de residuos generados

	R	MP	KW	HP	MPD
ben	0.0297	3.41	0.4127	0.297777	762.78
joel	0.0176	2.30	0.6756	0.471388	464.34;

scalar

FCE factor de conversión de electricidad en CO2 /0.615/
 FCR factor de conversión de residuos en CO2 /0.2376/
 FCEV factor de conversión de energía fotovoltaica en CO2 /0.02695/
 pe penalización si un operario no usa epp /1.35/
 nam tasa de accidentabilidad a los meses /0.00447866/
 CB capacidad de bodega /500/
 CP capacidad de energía fotovoltaica /11.49/
 it promedio de días por incapacidad temporal /30.5/
 Ch costo hora de trabajo /2.65/
 hd horas disponibles de trabajo al mes /160/
 hex horas extra que se pueden realizar en un mes /48/

Elim

;
 parameters
 report(*),rep(counter,*)
 f(m) coste unitario de fabricación energía Hidráulica /ben=2.48, joel=5.26/
 PVP(m) Precio de venta por modelo /ben=19, joel=18/
 d(m) demanda por modelo /ben=195, joel=185/
 kw(m) Factor de conversión de kW en CO2
 cr(m) Factor de conversión de residuos generados en CO2
 ;

kw(m)= FCE*A(m,'KW');
 cr(m)= FCR*A(m,'R');

Variables

U Utilidad
 CO2 huella de carbono
 SL accidentes
 CA Costo de accidente

Positive variables

NPJ(m) pijamas
 ;

equations

funobj,utilidad,Accidentes ,restresiduos,restmp,restprod,restbod,caccidente,he;

CO2.up=4300;

utilidad.. U =E= sum(m,((NPJ(m))*PVP(m)- (NPJ(m))*f(m))))-CA;
 restmp(m).. ((NPJ(m))*A(m,'MP')) =L= A(m,'MPD') ;
 restprod(m).. NPJ(m) =E= d(m);
 restbod.. sum(m,NPJ(m)) =L= CB ;

funobj.. CO2 =E= sum(m,kw(m)*NPJ(m)+cr(m)*(NPJ(m))) ;
 restresiduos(m).. (NPJ(m))*A(m,'R')=L= A(m,'MPD')*0.1 ;

Accidentes.. SL =E= sum(m,(NPJ(m)*A(m,'HP'))*nam*pe);
 caccidente.. CA =E= SL * it 8 Ch;
 he.. sum(m,(NPJ(m))*A(m,'HP')) =L= hd+48;

MODEL Multi10 /ALL/

SOLVE Multi10 us LP max U;

report('maxCO2') = CO2.I;

report('maxU') = U.I;

report('maxSL') = SL.I;

SOLVE Multi10 us LP min CO2;

report('minU') = U.I;

report('minCO2') = CO2.I;

report('minSL') = SL.I;

SOLVE Multi10 us LP min SL;

report('minU') = U.I;

report('minCO2') = CO2.I;

report('minSL') = SL.I;

LOOP(counter,

Elim=(report('maxCO2')-report('minCO2'))*((ord(counter)-1)/(card(counter)-1))+report('minCO2');

CO2.up=Elim;

SOLVE Multi10 us LP max U;

rep(counter,'U')=U.I;

rep(counter,'CO2')=CO2.I;

rep(counter,'SL')=SL.I)

```
;
display rep;
execute_unload "Multi10.gdx" rep;
execute 'gdxrw.exe Multi10.gdx o=Multi10.xls par=rep'
```

8.3. Código para la ejecución del modelo – Energía fotovoltaica

```
Sets
m modelos /ben, joel/
*e energía /H, F/
counter /C1*C15/;
Table
A(m,*) Tabla de la cantidad de residuos generados
      R      MP  KW      HP      MPD
ben  0.0297  3.41  0.4127  0.297777  762.78
joel 0.0176  2.30  0.6756  0.471388  464.34
;
scalar
FCE factor de conversión de electricidad en CO2 /0.615/
FCR factor de conversión de residuos en CO2 /0.2376/
FCEV factor de conversión de energía fotovoltaica en CO2 /0.02695/
pe penalización si un operario no usa epp /1.5/
nam tasa de accidentabilidad a los meses /0.00447866/
CB capacidad de bodega /500/
CP capacidad de energía fotovoltaica /5.74/
it promedio de días por incapacidad temporal /30.5/
Ch costo hora de trabajo /2.65/
hd horas disponibles de trabajo al mes /160/
hex horas extra que se pueden realizar en un mes /48/
Elim
;
parameters
report(*),rep(counter,*)
f(m) coste unitario de fabricación energía Hidráulica /ben=2.48, joel=5.26/
fv(m) coste unitario de fabricación usando energía fotovoltaica /ben=2.48, joel=5.26/
PVP(m) Precio de venta por modelo /ben=19, joel=18/
d(m) demanda por modelo /ben=195, joel=185/
kw(m) Factor de conversión de kW en CO2
kwev(m) Factor de conversión de energía fotovoltaica en CO2
cr(m) Factor de conversión de residuos generados en CO2
;
kw(m)= FCE*A(m,'KW');
cr(m)= FCR*A(m,'R');
kwev(m)= FCEV*A(m,'KW');
Variables
U Utilidad
CO2 huella de carbono
SL accidentes
CA Costo de accidente
Positive variables
```

NPJ(m) pijamas
 NPJ1(m) pijamas fotovoltaica
 ;

equations

```

funobj,utilidad,Accidentes ,restresiduos,restmp,restprod,restbod,restene,caccidente,he;
CO2.up=4300;
utilidad.. U =E= sum(m,(NPJ(m)+NPJ1(m))*PVP(m)- (NPJ(m)*f(m)+NPJ1(m)*fv (m)))-CA;
restmp(m).. ((NPJ(m)+NPJ1(m))*A(m,'MP')) =L= A(m,'MPD') ;
restprod(m).. NPJ(m)+ NPJ1(m) =E= d(m);
restbod.. sum(m,NPJ(m)+NPJ1(m)) =L= CB ;
funobj.. CO2 =E= sum(m,kw(m)*NPJ(m)+cr(m)*(NPJ(m)+NPJ1(m))+kwev(m)*NPJ1(m)) ;
restresiduos(m).. (NPJ(m)+ NPJ1(m))*A(m,'R')=L= A(m,'MPD')*0.1 ;
restene.. sum(m,NPJ1(m)*A(m,'KW')) =L= CP*20;
Accidentes.. SL =E= sum(m,(NPJ(m)*A(m,'HP')+NPJ1(m)*A(m,'HP'))*nam*pe);
caccidente.. CA =E= SL * it 8 Ch;
he.. sum(m,(NPJ(m)+NPJ1(m))*A(m,'HP')) =L= hd+48;
MODEL Multi10 /ALL/
SOLVE Multi10 us LP max U;
report('maxCO2') = CO2.I;
report('maxU') = U.I;
report('maxSL') = SL.I;
SOLVE Multi10 us LP min CO2;
report('minU') = U.I;
report('minCO2') = CO2.I;
report('minSL') = SL.I;
SOLVE Multi10 us LP min SL;
report('minU') = U.I;
report('minCO2') = CO2.I;
report('minSL') = SL.I;
LOOP(counter,
Elim=(report('maxCO2')-report('minCO2'))*((ord(counter)-1)/(card(counter)-
1))+report('minCO2'));
CO2.up=Elim;
SOLVE Multi10 us LP max U;
rep(counter,'U')=U.I;
rep(counter,'CO2')=CO2.I;
rep(counter,'SL')=SL.I)
;
display rep;
execute_unload "Multi10.gdx" rep;
execute 'gdxrw.exe Multi10.gdx o=Multi10.xls par=rep'
    
```

9. Repositorio

https://imageresearch.org/apendices_tesis_optimizacion_sustentabilidad/