



**Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto sobre indicadores de gestión al
implementar herramientas de mejoramiento continuo en empresas de servicios en
Antioquia**

Juan Alexander Marin Betancur

Trabajo de investigación presentado para optar al título de Magíster en Ingeniería

Director

Yoni Fernando Ceballos, Doctor en Ingeniería

Codirectora

Nosliu Zeley Velez Llanos, Magíster en Diseño, gestión y dirección de proyectos

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

Cita	Marin Betancur [1]
[1]	J. Marin Betancur, “Modelo de simulación dinámica para evaluar el impacto sobre indicadores de gestión al implementar herramientas de mejoramiento continuo en empresas de servicios en Antioquia”, Tesis de maestría, Maestría en Ingeniería, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2025.
Referencia	
Estilo IEEE (2020)	



Maestría en Ingeniería, Cohorte XXXIII.

Grupo de Investigación Ingeniería y Sociedad (I&S).



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A Leidy, mi esposa, cuyo amor y apoyo incondicional han sido mi fuerza motora en cada paso de este camino. A Isaac, mi hijo, cuya sonrisa ilumina mis días y me inspira a ser mejor. A ustedes, dedico este logro, fruto de sacrificios compartidos y sueños contruidos en familia.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a mis asesores, Fernando y Nosliu, por su guía constante, paciencia infinita y sabiduría compartida. Su apoyo ha sido fundamental para alcanzar este hito. También extendo mi gratitud a Leidy, por ser mi refugio en los momentos difíciles, y a Isaac, por ser la razón de mi perseverancia. Este trabajo es una prueba de que con amor, fe y dedicación, todo es posible.

TABLA DE CONTENIDO

I INTRODUCCIÓN.....	11
II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
Pregunta de investigación	14
III JUSTIFICACIÓN.....	15
III OBJETIVOS.....	16
IV HIPÓTESIS	17
V MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	17
La estrategia empresarial	18
Indicadores de gestión como base para medir la estrategia	19
Kaizen como herramientas de mejoramiento.....	20
ISO 9001 un enfoque de gestión por procesos	23
Sostenibilidad del kaizen.....	24
La estrategia organizacional y el MC.....	26
Factores clave de efectividad en la implementación del MC	27
Modelado del MC.....	28
Pensamiento sistémico y dinámica de sistemas	28
Modelado del mejoramiento continuo en Colombia.....	31
VI METODOLOGÍA	33
Desarrollo de la metodología basado en dinámica de sistemas.....	36

1. Articulación del problema	36
2. Definición dinámica del problema (Modos de Referencia).....	39
3. Formulación de hipótesis dinámicas.....	39
4. Formulación de un modelo de simulación.....	42
5. Pruebas	43
6. Diseño y evaluación de políticas	44
VII RESULTADOS.....	49
Resultado 1: Mejora en la eficiencia operativa	49
Resultado 2: Incremento en la motivación del personal.....	50
Resultado 3: Aumento del EVA (Valor Económico Agregado)	51
Resultado 4: Reducción en la rotación del personal.....	52
Resultado 5: Aumento en la formalización de proyectos de mejora.....	53
Resultado 6: Optimización de los recursos disponibles	54
Resultado 7: Incremento en el ROI de las mejoras	55
Resultado 8: Influencia positiva de la dirección	56
XII CONCLUSIONES	61
XIII RECOMENDACIONES.....	63
XIV IMPACTO Y PRODUCTOS.....	64
XV REFERENCIAS.....	65
XVI ANEXOS.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación empresarial de habilidades de mejoramiento continuo	27
Tabla 2 Metodología	34
Tabla 3 Pasos para el modelado de procesos	36
Tabla 4 Escenarios	45
Tabla 5 Diseño de Políticas	47
Tabla 6 Interacción de Políticas	48

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1 Esferas comparativas del kaizen	21
Fig. 2 Metodología para mejoramiento de procesos con enfoque ISO 9001.....	24
Fig. 3 Relación del proceso kaizen y tipos de capacidades organizacionales en Japón	25
Fig. 4 Factores clave y barreras de implementación del MC en economías emergentes.	28
Fig. 5 Analisis multivariado	40
Fig. 6 Diagrama causal construcción propia	40
Fig. 7 Modelo de flujos y niveles	42
Fig. 8 Principales influencias	43
Fig. 9 Principales dependencias	43
Fig. 10 Resultados en la eficiencia operativa	49
Fig. 11 Resultados en la motivación del personal	50
Fig. 12 Resultados en el EVA	51
Fig. 13 Resultado sobre la rotación del personal	53
Fig. 14 Resultados en los proyectos de mejora	54
Fig. 15 Resultados sobre los recursos disponible y el EVA	55
Fig. 16 Resultados sobre el ROI de las mejoras	56
Fig. 17 Resultados sobre la motivación de la dirección	57
Fig. 18 Resultados generales	58

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ACM	Análisis de correspondencias múltiples
EVA	Valor económico agregado
KPIs	Key Performance Indicators (Indicadores clave de desempeño)
Pymes	Pequeñas y medianas empresas
MC	Mejoramiento Continuo
MUDA	Muda es un concepto japonés que significa “desperdicio” o “ineficiencia”.
SD	System Dynamics (Dinámica de Sistemas)
TPS	Toyota Production System (Sistema de Producción Toyota)
WACC	Siglas en inglés de Weighted Average Cost of Capital, que en español se traduce como Costo Promedio Ponderado de Capital.

RESUMEN

El propósito de esta investigación es construir un modelo de dinámica de sistemas que permita determinar la efectividad de la implementación del mejoramiento continuo en empresas de servicios en Antioquia, Colombia. El mejoramiento continuo es un proceso planificado, organizado y sistemático de cambio que busca perfeccionar el desempeño de la empresa de manera permanente e incremental. Diferentes autores, han reconocido los beneficios de implementarlo, sin embargo, también se han planteado problemas en cuanto a su efectividad y permanencia en el tiempo, lo que resulta costoso, al invertir diferentes recursos sin lograr los objetivos esperados. En este mismo sentido una alta proporción de los estudios sobre implementaciones del mejoramiento se enfocan principalmente en manufactura, generando una oportunidad en el sector servicios. En ese mismo sentido no se cuenta con modelos que evalúen el impacto del mejoramiento continuo en empresas de servicios en Antioquia y que para ello hayan utilizado los beneficios del uso de la dinámica de sistemas, para comprender sistemas complejos y cambiantes en el tiempo. Gracias a este modelo se espera aportar a la comprensión de las implementaciones del mejoramiento continuo en empresas de servicios, al identificar relaciones causales que determinen factores que deben tenerse en cuenta a la hora de implementar nuevos proyectos de mejoramiento y cómo las decisiones que se tomen pueden afectar los indicadores de gestión organizacional. Como trabajo futuro en este documento se pretende la elaboración de una herramienta de software que permita modelar con dinámica de sistemas los diagnósticos sobre implementaciones de mejora continua.

Palabras clave — *Pensamiento sistémico, mejoramiento continuo, dinámica de sistemas, indicadores de gestión*

ABSTRACT

The purpose of this research is to build a system dynamics model that allows deciding the effectiveness of the implementation of continuous improvement in service companies in Antioquia, Colombia. Continuous improvement is a planned, organized, and systematic process of change that looks like it will improve the performance of the company in a permanent and incremental way. Moreover, different authors have recognized the benefits of implementing it, however problems have also been raised in terms of its effectiveness and permanence over time, which is expensive, by investing different resources without achieving the expected aims. In this same sense, a high proportion of the studies on improvement implementations focus mainly on manufacturing, generating an opportunity in the service sector. In the same sense, there are no models that evaluate the impact of continuous improvement in service companies in Antioquia and that have used the benefits of using system dynamics to understand complex and changing systems over time. Thanks to this model, it is expected to contribute to the understanding of the implementations of continuous improvement in service companies, by identifying causal relationships that determine factors that must be considered when implementing new improvement projects and how the decisions made can affect organizational management indicators. As future work, this document aims to develop a stock and flow diagram that is the dynamics described by the causal diagram.

Keywords — *Systems thinking, Continual improvement process, system dynamics, quality indicators.*

III INTRODUCCIÓN

Las empresas a nivel mundial han experimentado un crecimiento acelerado y sostenido de la competencia causado por factores como la escasez de recursos económicos y mercados globales abiertos, sumado a dificultades para inventariar y distribuir costos indirectos, entre otras [1]. Esto ha generado un escenario propicio para la implementación de mejores prácticas, principios, estrategias y tecnologías de gestión en las empresas, que permitan la reducción de costos, mejora de la calidad de productos y servicios, y aumentos de la productividad [2]–[4]. En este sentido, se ha enfatizado en la importancia del Mejoramiento Continuo (también denominado KAIZEN¹ por su significado en japonés) con el fin de conseguir ventajas competitivas [5]–[10], las cuales se pueden alcanzar a medida que se logren implementar herramientas del MC de manera exitosa [11]–[12].

Según Butler et al.,[1], el MC es "un patrón aprendido y estable de actividad colectiva a través del cual la organización genera y modifica sistemáticamente sus rutinas operativas en busca de una mayor eficacia". Para Khan et al.,[2], el MC orienta la organización hacia mejoras menores graduales, en lugar de grandes y radicales, a través de inversión en tecnologías e innovación, al tiempo que gerentes y empleados son conscientes de su desempeño, logrando así una reducción de costos. Además, las actividades del MC son objetivo y responsabilidad de toda la organización, tanto de empleados de la alta dirección como los de primera línea, haciendo esfuerzos sencillos pero constantes todos los días y en cada actividad [14].

El MC ha permitido a algunas empresas alcanzar mejoras de productividad del 41% y reducciones de tiempos de procesamiento del 25%, aproximadamente [4]–[15], siendo el incremento de la productividad una de las principales razones para implementar MC [16]–[21]. Así, la implementación de prácticas de MC permite fortalecer la industria, siendo una guía eficaz para alinear la estrategia a la operación [4], y facultando una gestión por procesos con decisiones asertivas y consistentes basadas en objetivos y metas claras[3].

Aunque el MC se practica ampliamente por sus conocidos beneficios, se han presentado problemas para mantener el impulso de sus actividades con dificultades en la aplicación y efectividad de su implementación [23]-[24], principalmente en el mediano y largo plazo [25]. Lo anterior se intensifica en las Pymes debido principalmente a escasez de recursos económicos, falta de tiempo de las personas involucradas, la comunicación interna deficiente y la resistencia interna [26]. Al respecto, Jaca et al.,[4] estudiaron la implementación de MC en dos comunidades industriales de España y México, y encontraron que el abandono del MC se debe a una falta de comprensión de la filosofía o propósito de las herramientas, el involucramiento parcial de la organización en temas que requieren trabajo en equipo, la carencia de indicadores de medición, entre otros.

Particularmente en la industria de servicios, el MC resulta crucial para definir indicadores de desempeño empresarial (KPIs), el no cumplimiento de las expectativas de sus clientes puede finalizar en pago de multas, indemnizaciones o del abandono de los clientes[28]. Asimismo, se necesita un marco que logre identificar relaciones cualitativas y cuantitativas entre los KPIs, buscando que los objetivos estratégicos y las medidas del MC en la industria de servicios permanezcan alineadas [29]. De esta manera, se pueden determinar relaciones causales entre variables, que apalanquen una gestión adecuada del MC en empresas de servicios [30]-[31].

A pesar de las necesidades mencionadas, los estudios de MC en empresas de servicios son escasos en la literatura [32]-[33] y falta mayor análisis en la relación entre el MC y el desempeño empresarial en entornos complejos [34], como por ejemplo, la investigación sobre MC en Pymes Iberoamericanas se centra principalmente al sector manufacturero [22]. Además, existen menos estudios en el sector servicios que en el manufacturero con relación a las barreras para la implementación de MC [35], a su vez no se evidencia que aborden temas relacionados a la durabilidad de implementaciones de MC [36]. Comprendiendo la importancia de la industria de servicios y que ha sido denominado un componente clave para la economía con una tendencia de crecimiento que supera a otros sectores, representando, por ejemplo, el 63% del PIB y el 45,5% de la ocupación laboral mundial (cifras tomadas del estudio) [37], se podría entender la necesidad de estudiar a fondo como herramientas administrativas apalancan la competitividad empresarial y su desarrollo sostenible.

¹ el término japonés Kaizen consta de dos secciones: kai, que significa cambio, y zen, que significa mejora [2].

Lo anterior podría explicar las dificultades de implementar MC en la industria de servicios, desde el punto de vista de sus procesos, los mismos que son propensos a ejecutarse con errores, pudiendo ser definidos por una complejidad de naturaleza dinámica [35]-[38]-[39]. Por otro lado, la industria de servicios depende en gran medida de las personas, y la filosofía de MC ha nacido en culturas orientales, donde el factor humano es un pilar fundamental de transformación para sus organizaciones hacia el MC [36]. Por lo tanto, implementar herramientas de MC no es sinónimo de infundir el pensamiento del MC en la empresa [40], ya que, la implementación de MC debe verse como un sistema sociotécnico, holístico, que combina dimensiones sociales y técnicas [36].

En consecuencia, un método estructurado con un enfoque global que involucre aspectos técnicos y sociales dentro de la empresa aumenta significativamente las posibilidades de éxito en la implementación [36]-[41]. Para ello, debe entenderse a través del pensamiento sistémico, sin pretender la sola utilización de sus herramientas, centrándose en el efecto del entorno cambiante de la empresa, presenta sobre las dinámicas del grupo, sin otro objetivo de generar un entorno de confianza entre las personas [36]. Modelar el MC como un sistema complejo y dinámico podría representar una oportunidad de investigación, ya que este se constituye como una forma de trabajo organizada, dinámica y compleja [42]-[43].

Se han identificado algunos estudios para modelar el MC como parte de la estrategia organizacional, también formas de medir su efectividad, para este estudio son de particular interés, el modelo de análisis de correspondencias múltiples (ACM) presentado por Guzmán et al.,[5], en donde se identifican variables que permiten comprender como la estrategia se desarrolla a través de métodos de calidad y MC; los estudios de Paipa et al.,[44] que presenta un análisis de casos sobre los factores de éxito en la implementación del MC; el modelo de Bessant et al., [6], el cual es frecuentemente referenciado para determinar el nivel de efectividad de las implementaciones de MC en las empresas [44]; el modelo de Jaca[7] que modela la interacción de equipos de trabajo en ambientes de MC. Estos autores se convierten en la base de esta investigación ya que logran identificar variables que permiten medir la efectividad en las implementaciones de MC y más específicamente presentan un vacío de conocimiento sobre la evaluación del impacto del MC mediante un enfoque de pensamiento sistémico.

Al mismo tiempo, en Colombia, la implementación de MC en Pymes requiere un alto grado de compromiso de toda la organización, siendo fundamental orientar la cultura organizacional hacia la filosofía de MC para comprometer al recurso humano con el proyecto [46]-[47]. El liderazgo y el trabajo en equipo son aspectos claves para una implementación exitosa de MC, porque los recursos son limitados en las Pymes colombianas [47], la sinergia laboral puede ser un medio para la optimización de los recursos. Al respecto, Rodríguez et al.,[8] identifican algunas barreras para la implementación de MC en instituciones de educación superior, como la falta de orientación de procesos, poca visión estratégica, falta de comunicación, entre otros, muchos de los problemas que se enfrentan en el despliegue del MC, tiene que ver mas con las personas, que con cuestiones técnicas [48].

Finalmente, se detecta como problema central que los estudios de MC en industrias de servicios podrían no estar utilizando un enfoque de pensamiento sistémico para ser abordados, lo cual representa un vacío metodológico, si se tiene en cuenta la filosofía sistémica y holística sobre la que habitualmente se desarrollaron las prácticas de MC. Por otro lado, las Pymes colombianas tienen problemas en el aspecto humano para implementar MC, se destaca el bajo nivel de liderazgo, fallas de comunicación, incomprensión de la filosofía de MC, tener una cultura organizacional fragmentada y desorientada, entre otros. Podría considerarse que la falta de un pensamiento sistémico y holístico es la causa más común en estas barreras, frustrando el proceso de implementación de MC en industrias de servicios [9].

Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo general, analizar las relaciones de causa y efecto entre indicadores de gestión organizacional, que permitan determinar las variables críticas en la efectividad de la implementación de MC, en empresas de servicios en Antioquia.

IV PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A partir del marco teórico que se plantea a continuación, se puede observar que existen diversos elementos –como la estrategia empresarial, los indicadores de gestión, el Kaizen y la norma ISO 9001– que ofrecen una base sólida para evaluar la efectividad de las implementaciones de mejoramiento continuo (MC). En el planteamiento del problema se hace necesario conectar estos conceptos teóricos con variables y procedimientos concretos que permitan determinar, de manera empírica, el grado de éxito de dichas implementaciones en el sector servicios de Colombia. A continuación, se explica cómo se aplican estos lineamientos teóricos al problema planteado:

Integración de la estrategia empresarial y la gestión del MC

La literatura muestra que la estrategia empresarial es fundamental para que las organizaciones obtengan ventajas competitivas [39], [49]. En este estudio, se propone evaluar si la integración de los conceptos estratégicos –como la formulación de objetivos, la planificación y el uso de herramientas de gestión (por ejemplo, el Balanced Scorecard) [52]– se traduce en una mejora sostenible de la productividad y calidad en el sector servicios. Esto implica analizar cómo las decisiones estratégicas impactan en la ejecución de procesos MC y, por ende, en el desempeño organizacional [50], [51].

Uso de indicadores de gestión para la medición del desempeño

La transición de un enfoque puramente financiero hacia la utilización de indicadores de gestión permite medir la efectividad de las acciones implementadas. Basándose en las propuestas de Rincón [53], se identifican tres medidas clave –efectividad, eficiencia y adaptabilidad– que sirven como variables para cuantificar el impacto de MC en las operaciones diarias. En el problema de investigación, se evaluará si estos indicadores permiten detectar desviaciones en la ejecución de las estrategias y, de esta forma, establecer mecanismos de retroalimentación para la toma de decisiones.

Aplicación de la filosofía kaizen en el contexto colombiano

El Kaizen, entendido como un proceso de mejora continua que involucra a todos los niveles de la organización [54]–[57], se plantea como uno de los ejes fundamentales para alcanzar la excelencia operativa. En el marco del estudio, se analizará cómo los principios del Kaizen –como el compromiso gerencial y la participación de todo el personal– se aplican en las empresas de servicios, considerando las particularidades culturales y estructurales propias de Colombia. Esta perspectiva se alinea con los

argumentos de Imai [62] y otros autores que destacan la necesidad de un enfoque holístico para lograr mejoras sostenibles.

Implementación de metodologías de calidad (ISO 9001)

La norma ISO 9001 proporciona un marco sistemático para la gestión por procesos y la mejora continua [52]. Su aplicación en el sector servicios implica desarrollar fases específicas que aseguren la ejecución correcta de actividades orientadas a generar valor para el cliente. En el planteamiento del problema se pretende determinar en qué medida la adopción de esta norma, junto con otros enfoques de MC, contribuye a la creación de ventajas competitivas en las empresas colombianas.

La consolidación de estos elementos teóricos permite estructurar el problema de investigación en torno a las siguientes preguntas:

¿Cómo influyen los lineamientos estratégicos y la integración de indicadores de gestión en la efectividad de las implementaciones de MC en el sector servicios?

¿Qué papel juegan el Kaizen y las metodologías de calidad (ISO 9001) en la sostenibilidad y permanencia de las mejoras?

¿Cuáles son las variables clave derivadas de la revisión bibliográfica que permiten medir de forma precisa el impacto de MC en el desempeño organizacional?

Estos interrogantes permiten transformar los conceptos teóricos en variables operativas y procedimientos metodológicos para el estudio empírico, asegurando que la investigación no solo se base en fundamentos teóricos sólidos, sino que también responda a las necesidades y retos específicos del contexto colombiano [30], [56], [68].

En síntesis, la aplicación de los lineamientos teóricos al problema de investigación se centra en establecer un vínculo directo entre la estrategia organizacional, la medición del desempeño a través de indicadores de gestión y la implementación de metodologías de MC (como Kaizen e ISO 9001). Este enfoque permite evaluar la efectividad y sostenibilidad de las mejoras continuas, ofreciendo un marco integrador que respalde la toma de decisiones y la creación de ventajas competitivas en el sector servicios de Colombia [7], [17], [25].

El marco teórico parte de la premisa de que la estrategia empresarial es un elemento fundamental para alcanzar ventajas competitivas [39], [49]. En este sentido, la formulación de objetivos, la planificación y el uso de herramientas de gestión –como el Balanced Scorecard [52]– constituyen elementos esenciales para medir la efectividad de las implementaciones de MC. Así, se plantea evaluar si la integración de estos conceptos estratégicos y operativos se traduce en mejoras sostenibles en el sector servicios de Colombia [50], [51].

Por otro lado, la implementación de MC se apoya en la utilización de indicadores de gestión que permiten medir la efectividad (grado en que se cumplen los objetivos), la eficiencia (uso óptimo de recursos) y la adaptabilidad (flexibilidad para responder a cambios) [53]. Estos indicadores no solo permiten detectar desviaciones en la ejecución de las estrategias, sino que también facilitan la retroalimentación necesaria para la toma de decisiones oportunas.

La filosofía Kaizen, entendida como un proceso de mejora continua que involucra a todos los niveles de la organización [54]–[57], se constituye en un pilar fundamental para alcanzar la excelencia operativa. Diversos estudios destacan que el éxito en la implementación de MC depende en gran medida del compromiso gerencial y la participación de los empleados [30], [56]. De igual forma, la adopción de metodologías como la norma ISO 9001, que establece un marco para la gestión por procesos, contribuye a sistematizar y consolidar las mejoras continuas, generando productos o servicios con valor agregado [52].

Finalmente, el paso del marco teórico al planteamiento del problema implica definir preguntas de investigación que permitan:

- Determinar cómo la integración de la estrategia organizacional y los indicadores de gestión influye en la efectividad de las implementaciones de MC.
- Analizar el impacto del compromiso gerencial y la participación de los empleados, tal como lo promueve el Kaizen, en la sostenibilidad de estas mejoras.
- Identificar las variables clave que, a partir de la revisión bibliográfica, permiten medir de manera empírica el impacto de MC en el desempeño organizacional.

Estrategia organizacional y mejoramiento Continuo

En el estado del arte se evidencia que, mientras las empresas occidentales tienden a buscar beneficios de corto plazo con una visión limitada, los directivos japoneses implementan MC de manera estratégica y con una visión a largo plazo, lo que se traduce en altos estándares de calidad, mayor productividad y reducción de costos [73]. Esta diferencia de enfoque refuerza la importancia de que la alta gerencia no solo defina estrategias, sino que también se involucre activamente en todos los procesos, motivando y fomentando la participación integral de los colaboradores [74]. Además, diversos estudios destacan que la estrategia de operaciones, la mejora continua y la innovación son esenciales para alcanzar una ventaja competitiva, apoyándose en facilitadores como la gestión por procesos, el compromiso gerencial, el liderazgo y la claridad en la fijación de objetivos [22], [75].

Factores clave de efectividad en la implementación del MC

El modelo de Bessant, ampliamente reconocido en la literatura, clasifica las organizaciones en cinco niveles de madurez en la implementación de MC [72], [76]. Esta clasificación permite evaluar la evolución de las prácticas de mejoramiento, desde iniciativas aisladas hasta la integración estratégica de MC en la cultura organizacional. Estudios como el de Paipa [72] han identificado factores críticos y barreras en economías emergentes, resaltando que el éxito depende de la disponibilidad de recursos, el compromiso de la alta dirección, la participación de los empleados y la claridad en los objetivos, además de contar con un responsable que empodere las iniciativas de mejora [77].

Modelado del MC y pensamiento sistémico

El uso del pensamiento sistémico y la Dinámica de Sistemas (SD) se presenta como una herramienta poderosa para modelar la complejidad de los procesos de mejoramiento continuo. Según Vera et al. [78], es fundamental comprender la situación actual, identificar las variables más influyentes y generar escenarios futuros mediante análisis dinámicos. La SD permite representar de manera gráfica las interrelaciones causales a través de diagramas de flujo, lo que facilita la interpretación y comprensión de sistemas complejos, incluso para quienes no tienen un conocimiento profundo en la materia [31]. Este enfoque es especialmente útil cuando se pretende evaluar la evolución en el tiempo de los procesos de MC, superando las limitaciones de modelos estáticos [30].

Modelado del MC en el contexto colombiano

En Colombia, el desafío de aumentar la productividad y la competitividad pasa por la implementación de acciones estructurales que permitan una inserción efectiva en las cadenas globales de valor [84]. Estudios recientes indican que la mayoría de las empresas son micro y pequeñas, lo que impone retos adicionales en la adopción de metodologías de mejoramiento continuo [84]. Investigaciones previas señalan que la introducción de herramientas como el Kaizen, iniciada por la llegada de multinacionales, ha permitido identificar aspectos clave para su sostenibilidad, tales como el seguimiento de indicadores, el compromiso de la dirección, el liderazgo y el entrenamiento del personal [7], [77], [85]. Sin embargo, se evidencia un vacío en la aplicación transversal de modelos dinámicos que integren MC y SD, lo que representa una oportunidad para profundizar en el estudio y modelado de estas interacciones en el contexto colombiano.

Preguntas de investigación

A partir del objetivo general de investigación y la relación del marco teórico y estado del arte al planteamiento del problema, se plantean tres preguntas de investigación (PI):

PI.1: ¿Cuál es la incidencia de implementar MC sin conocer los efectos sobre indicadores de gestión en Antioquia?

PI.2: ¿Cuáles relaciones de causa-efecto entre variables son críticas en la implementación del MC en empresas de servicios de Antioquia?

PI.3: ¿Qué temas de gestión se han abordado con respecto a la evaluación del impacto en modelos de implementación de MC en Antioquia? y, ¿Cuál es la calidad de la información disponible (evaluación de la evidencia)?

V JUSTIFICACIÓN

El contexto global de las empresas está marcado por una competencia intensa, impulsada por la escasez de recursos económicos y la apertura de mercados internacionales. Esto ha generado la necesidad de adoptar mejores prácticas, principios, estrategias y tecnologías de gestión que permitan la reducción de costos, la mejora en la calidad de productos y servicios, y aumentos en la productividad. En este entorno, el concepto de Mejoramiento Continuo (MC), también conocido como KAIZEN, ha emergido como un enfoque clave para lograr ventajas competitivas. Según Santana Pajoy [10], la implementación de la metodología KAIZEN en empresas manufactureras ha demostrado ser una estrategia efectiva para optimizar procesos, reducir desperdicios y mejorar el desempeño organizacional, lo que la convierte en una herramienta valiosa en un mercado altamente competitivo.

El MC busca la mejora gradual y constante de los procesos organizacionales, involucrando a todos los niveles de la organización, desde la alta dirección hasta los empleados de base. Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la implementación del MC enfrenta desafíos[11], especialmente en las Pymes, donde la falta de recursos económicos, el tiempo limitado, la comunicación deficiente y la resistencia interna pueden obstaculizar su éxito. Un estudio realizado por el Instituto Tecnológico de México [12] resalta que, a pesar de los beneficios del KAIZEN, muchas Pymes no cuentan con el conocimiento ni los recursos para su implementación adecuada, lo que limita la consolidación de una cultura de mejoramiento continuo.

En particular, la industria de servicios, un sector clave para la economía global, enfrenta retos únicos en la implementación de MC debido a la naturaleza dinámica y compleja de sus procesos. La adopción de MC en este sector es crucial para el establecimiento de indicadores de desempeño empresarial (KPIs) y la mejora de la eficiencia operativa. Sin embargo, la literatura actual muestra una escasez de estudios enfocados en la relación entre MC y el desempeño empresarial en entornos de servicios. De acuerdo con Chara-Pin et al.,[13] la aplicación de la filosofía KAIZEN en la administración de microemprendimientos ha generado mejoras significativas en la productividad y la calidad del servicio, aunque persisten dificultades en la medición del impacto a largo plazo dentro del sector de servicios.

En Colombia, el contexto de las Pymes en la industria de servicios presenta un desafío adicional, dado el papel crítico que desempeña el liderazgo de una cultura organizacional en la implementación efectiva de MC. La falta de un enfoque sistémico-holístico, que combine dimensiones sociales y técnicas, puede ser una barrera significativa para la implementación exitosa de MC. Pérez Uribe [14], señala que el liderazgo transformacional desempeña un papel clave en la consolidación del MC, ya que facilita la alineación de los equipos de trabajo con los objetivos estratégicos y fomenta una cultura de innovación y aprendizaje continuo.

Este trabajo de investigación se justifica por la necesidad de abordar este vacío metodológico y contextual, ya que pretende analizar relaciones de causa y efecto entre variables que contienen los indicadores de gestión organizacional en empresas de servicios específicamente de la región de Antioquia, se espera identificar las variables críticas para la efectividad de la implementación de MC.

Este estudio contribuirá al cuerpo de conocimiento al ofrecer un enfoque sistémico-holístico para la gestión del MC, proporcionando una guía para mejorar la productividad y competitividad de las Pymes en el sector servicios. Según el Centro de Ciencia y Tecnología de Antioquia (CTA) [15], los programas de implementación de KAIZEN han permitido que diversas empresas colombianas mejoren su desempeño operativo y reduzcan sus costos, lo que resalta la importancia de contar con un marco metodológico adaptado a las particularidades del contexto empresarial local.

VI OBJETIVOS

A. Objetivo general

Construir un modelo con simulación de dinámica de sistemas para indicadores de gestión organizacional, que permita determinar la efectividad de la implementación del mejoramiento continuo en empresas de servicios en Antioquia.

B. Objetivos específicos (OE)

(OE1) Identificar variables e indicadores clave que permitan desarrollar una hipótesis dinámica asociada a la implementación de herramientas de mejoramiento continuo en empresas de servicios de Antioquia.

(OE2) Diseñar un modelo causal que integre las variables y los indicadores de gestión, que represente diferentes comportamientos de implementación y sus implicaciones por medio de simulación.

(OE3) Evaluar diferentes estrategias mediante la construcción de escenarios que mitiguen los impactos negativos existentes en la implementación de herramientas de mejoramiento continuo.

VII HIPÓTESIS

La implementación de un modelo de dinámica de sistemas que integre variables de gestión organizacional y prácticas de Mejoramiento Continuo (MC) mejora significativamente la efectividad operativa y competitiva de las empresas de servicios en Antioquia, al abordar de manera holística las barreras asociadas a la implementación de MC, como la falta de liderazgo, la comunicación interna deficiente y la resistencia al cambio.

Hipótesis 1: La identificación y monitoreo de indicadores clave de gestión organizacional están positivamente correlacionados con la mejora en los resultados operativos y financieros en empresas de servicios que implementan prácticas de MC en Antioquia.

Hipótesis 2: Un enfoque de pensamiento sistémico-holístico en la implementación de MC reduce la incidencia de barreras organizacionales, como la resistencia al cambio y la fragmentación de la cultura organizacional, en empresas de servicios de Antioquia.

Hipótesis 3: La simulación de escenarios de MC mediante modelos de dinámica de sistemas permite predecir y mitigar los impactos negativos asociados con la implementación de estas prácticas, mejorando la efectividad a largo plazo en las empresas de servicios en Antioquia.

Estas hipótesis permitirán validar si la integración de modelos dinámicos y un enfoque sistémico puede ofrecer soluciones efectivas para superar las barreras de implementación de MC en el sector de servicios.

VIII MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Esta sección presenta los conceptos teóricos del mejoramiento continuo de procesos, de ahora en adelante se mencionará como MC, así como su relación con el desarrollo de la estrategia organizacional para el cumplimiento de objetivos, se recopilan las variables clave de éxito en otros países con casos exitosos, que permitan evaluar su aplicabilidad en el sector servicios de Colombia y finalmente se plantea el uso del pensamiento sistémico como paradigma de solución de problemas complejos y holísticos, aplicado a la evaluación de la efectividad de las implementaciones de MC.

La estrategia empresarial

La estrategia empresarial es considerada una pieza clave para que las empresas alcancen ventajas competitivas, y la forma en que se aborda tiene relación directa sobre su desempeño, esto ha generado un interés por comprender su relación con los impactos de la gestión organizacional [5].

El rendimiento depende del enfoque estratégico utilizado. El uso del término estrategia en el ámbito empresarial se dio en los años sesenta, en este periodo se empieza a concebir como un proceso que aporta valiosas herramientas de gestión a la gerencia[39]. Para los clásicos, la estrategia incluye objetivos, metas, planes y políticas, pero autores como Jones y George [49] la conciben como un conglomerado de decisiones relacionadas con metas, actividades y recursos.

Con el fin de mejorar la productividad, la calidad y el rendimiento, los directivos optan por implementar herramientas como MC, TQM (Total Quality Management), transformación de procesos, ingeniería inversa, entre otros, en la búsqueda de resultados diferenciadores para su sector, ahora bien puede resultar complejo asegurar que los resultados permanezcan en el tiempo, como lo menciona Porter [50].

A medida que los gerentes presionan para mejorar en todos los frentes, se alejan cada vez más de posiciones competitivas viables[16]. En este orden de ideas Porter sostiene que la eficacia operativa, aunque necesaria para un rendimiento superior, no es suficiente, porque sus técnicas son fáciles de imitar.

Por el contrario, la esencia de la estrategia es elegir una posición única y valiosa arraigada en sistemas de actividades que son mucho más difíciles de igualar[51]. (“Principales autores de estrategia empresarial - gestiopolis”) El estratega debe monitorear la influencia positiva o negativa de sus decisiones para medir su impacto sobre el sistema que administra, herramientas como el Balanced Score Card de Kaplan y Norton, que vincula el logro de las metas estratégicas a largo plazo con las operaciones diarias de una organización, lo que permite medir el desempeño de la metodología y establecer el medio más efectivo para enlazar la planificación y la estrategia, facilitando su ejecución, seguimiento, control y la toma de decisiones oportunas en beneficio de los clientes [52].

Indicadores de gestión como base para medir la estrategia

Anteriormente la evaluación del desempeño y el control en las empresas se realizaba solo con los informes financieros, a finales de los 80 los cambios en el mercado generaron que países como Colombia se enfrentaran a la dura realidad de que sus empresas fueran poco productivas, este panorama obligó a que las empresas replanteasen sus modelos de administración mediante técnicas para mejorar la productividad e incrementar su eficiencia, uno de los factores que más se generalizó, es el uso de sistemas de control para revisar de manera periódica la ejecución de actividades bajo criterios de calidad y oportunidad, apoyando el proceso de toma de decisiones, siempre y cuando este control se oriente con los objetivos propios de la empresa, y permita evidenciar desviaciones sobre los planes y sus resultados, podríamos concluir que es un mecanismo válido para asegurar las metas [53].

Rincón [53] plantea que existen tres medidas fundamentales que caracterizan un sistema:

- **Efectividad:** Mide el grado hasta el cual los resultados cumplen los objetivos, es decir, satisfacen las necesidades y expectativas.
- **Eficiencia:** Mide la cantidad de recurso utilizado para lograr el objetivo propuesto. Las organizaciones deben minimizar el uso de los recursos.
- **Adaptabilidad:** Todo sistema debe ser flexible para responder a las expectativas actuales o futuras de los clientes.

La definición e implementación de indicadores de gestión organizacional es un factor clave para evaluar el desempeño y dirigir de manera efectiva las acciones estratégicas en una empresa. Estos indicadores no solo permiten monitorear el cumplimiento de objetivos y metas, sino que también facilitan la toma de decisiones basadas en información cuantitativa y cualitativa confiable. De acuerdo con Rincón [53], el diseño sistemático de indicadores claros y relevantes impulsa la coherencia en la planificación, promueve la mejora continua y fortalece la competitividad de la organización.

Por otra parte, Rincón [53] destaca la importancia de la precisión y consistencia en la recolección de datos, enfatizando que un control inadecuado o desactualizado de la información puede llevar a una toma de decisiones equivocada. Para maximizar el impacto de los indicadores, es fundamental establecer un ciclo de revisión continua y ajustar, cuando sea necesario, los métodos de medición y los criterios de evaluación, asegurando así la pertinencia y confiabilidad de los resultados.

Kaizen como herramienta de mejoramiento

El termino Kaizen hace referencia a mejorar continuamente, es una palabra de origen japones, compuesta por dos ideogramas (Kanjis) que significan: Kai = Cambio y Zen = para mejorar [54], podría definirse como una filosofía para evolucionar, tanto en la vida diaria, como en la vida empresarial [55], también ha sido vista como una filosofía Japonesa que se ha venido popularizando en todo el mundo a lo largo del siglo, sus principios y metodología sistemática permiten ejecutar actividades permanentes de mejora, las cuales transforman los resultados de la empresa[56], en relación con la estrategia corporativa [57].

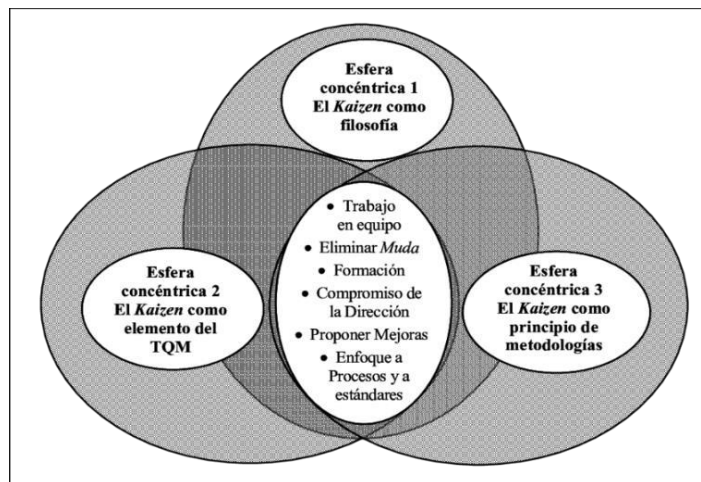
Según Aoiki[58] el Kaizen le provee a las empresas ventajas competitivas, permite involucrar a todo el personal, desde los altos directivos hasta los niveles operativos, creando un ambiente perfecto para alinear las acciones operacionales con los objetivos estratégicos, en un ambiente en el que predomina la mutualidad y reciprocidad. En este mismo sentido [59], describe la manera en que industrias como Toyota, entrena a sus altos ejecutivos para transferir su ADN de mejoramiento, bajo un sistema de experimentos de mejora de las operaciones a cargo de estos directivos, está relacionada con la capacidad de replicar los principios filosóficos a otros integrantes.

Esta referencia es uno de los factores iniciales para determinar las variables necesarias de esta investigación, toda vez que para poder evaluar la efectividad en las implementaciones es necesario contar con un conjunto de variables sobre las cuales experimentar, se ha evidenciado que el compromiso gerencial es una de las más importantes en casos de la permanencia de las implementaciones[30].

Podemos afirmar que se han abordado distintas definiciones sobre MC y Kaizen, por lo que se distinguen dos corrientes, algunos coinciden en que ambas pueden ser sinónimo[60], para otros su esquema de aplicación es más profundo, considerándolo una filosofía empresarial[61], en adelante se usaran los términos como sinónimo. Para Suarez [56] el Kaizen consiste en una serie de acciones que, unidas a los elementos de cada individuo, lo hacen crecer como persona, tanto en la vida laboral, familiar o social, por lo que podría ser vista además como un estilo de vida.

En sus inicios como filosofía empresarial Imai [62] describe una amplia conceptualización metodológica[63], afirma que no solo debe interpretarse como un aspecto relativo a la calidad, sino que desde un sentido holístico representa la mejora en todos los aspectos y niveles de las compañías [64]. Para complementar, se ha tratado de dar claridad resaltando que el mejoramiento debe darse en todos los niveles y debe involucrar tanto a empleados como directivos de las organizaciones[65], desde otros aspectos se ha considerado el Kaizen como una escuela de pensamiento[66], entendida como una serie de actividades continuas de mejora estructurada que plantean innovaciones en los procesos de manera incremental y que deben mantenerse en el tiempo[67].

Imai reconoce que el Kaizen a menudo se interpreta y ha llegado a significar MC, sin embargo, cuestiona esta traducción porque en su opinión el MC no lleva la autodisciplina y compromiso que todos necesitan al realizar Kaizen[30]. La Fig. 1 describe la visión que Suarez [54] han planteado para entender los diferentes estilos de pensamiento que se han dado sobre el Kaizen, los cuales finalmente convergen en su alcance. La palabra MUDA de la gráfica hace referencia a desperdicio, concepto abordado en metodologías de manufactura esbelta.

Fig. 1*Esferas comparativas del Kaizen**Tomado de Suarez et al.,[17]*

El Kaizen a sido transferido desde Japón por lo menos a 30 países[68], sus beneficios en la productividad en industrias Japonesas han permitido que se convierta en una herramienta de la administración de operaciones, ejemplos como el de HONDA y TOYOTA han sido estudiados por sus beneficios, al vincular el Kaizen a su ADN corporativo se convirtieron en pioneros de su desarrollo, crearon sistemas de producción que condensan practicas sobre actividades de mejoramiento continuo bajo un marco ampliamente aceptado y replicable a diferentes tipos de industrias.

En Medellín, Colombia, una importante empresa ensambladora de vehículos, ha utilizado como herramienta de ventaja competitiva y filosofía empresarial, el sistema de producción Toyota (TPS), lo que inició como un conjunto de actividades de formación y acompañamiento, terminó en un mecanismo que les permitió desarrollar su estrategia[69]. Algunas industrias colombianas han utilizado estos conceptos de manera simple, han implementado herramientas de mejoramiento como 5's, definida por las palabras japonesas: Seiri (Clasificación), Seiton (Orden), Seiso (Limpieza), Seiketsu (Estandarización) y Shitsuke (Disciplina); evitando problemas derivados del desorden y la falta de instrucciones y proporcionando bienestar, disciplina y un ambiente armónico [7].

Comprendiendo la relación entre las filosofías de Kaizen y asumiendo que es sinónimo de MC, se destaca que muchas de las implementaciones actuales de occidente carecen de algunos factores clave que garantizan su perdurabilidad, en esencia algunos modelos que tratan de medir la

forma en que el MC evoluciona, abordan la necesidad de crear culturas organizacionales para el mejoramiento.

La implementación del MC se da por etapas y existen modelos para determinar la efectividad de las implementaciones y sus factores clave de éxito, por ejemplo Tanner y Roncarti [70] menciona 4 aspectos principales:

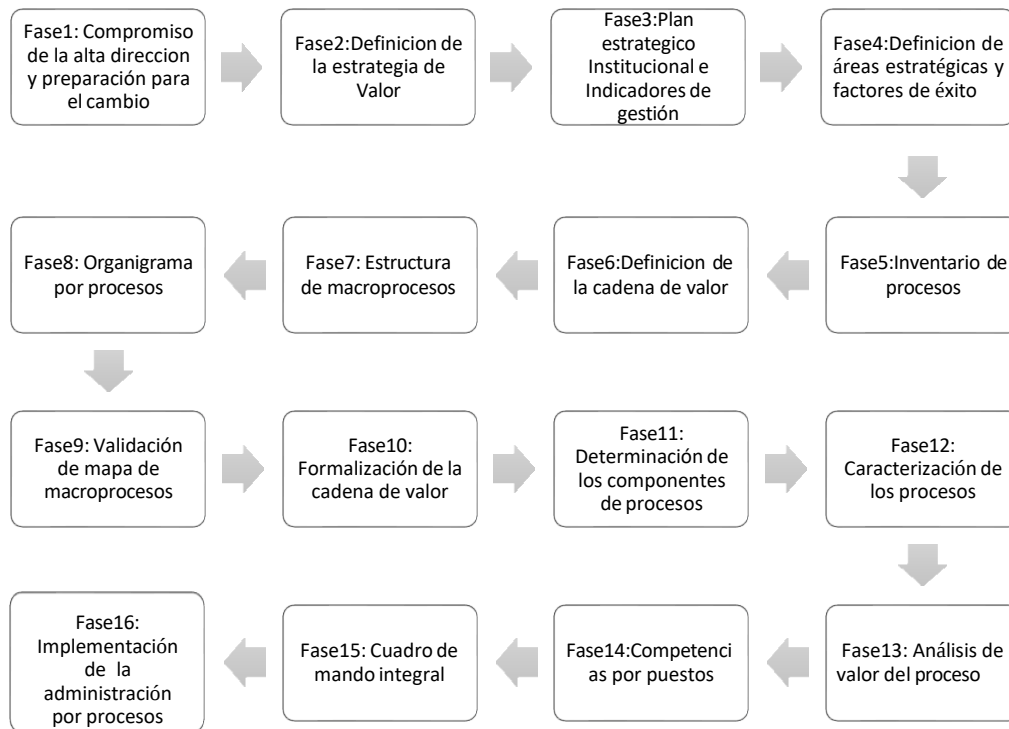
- Enfoque en la acción, es decir que se deben ejecutar las propuestas de mejoramiento que se identifiquen y sean relevantes.
- Victorias tempranas.
- Vincular las técnicas y las herramientas con las metas.
- Gestionar el cambio, tanto cultural como de valores, es decir que la cultura de Kaizen debe permear todos los niveles y aspectos de la organización.

ISO 9001 un enfoque de gestión por procesos

La Metodología para mejoramiento de procesos con enfoque ISO 9001, proporciona los lineamientos necesarios que requiere una organización sin importar su tamaño, forma o estructura, para alcanzar una ventaja competitiva[52] al desarrollar actividades de mejoramiento continuo y solución de problemas, impulsando la administración de las organizaciones bajo la filosofía de procesos, a fin de optimizar los recursos disponibles incrementando la productividad.

La metodología se compone de 16 fases, identificadas y explicadas secuencialmente en forma concreta en que actividades y como deben ejecutarse las mismas, aplicando en cada una de las ellas los requisitos que establece la norma ISO 9001, como se aprecia en la Fig. 2. Este enfoque da como resultado una metodología que describe de manera organizada el que, y el cómo hay que hacerlo, para producir productos o servicios que tengan valor agregado para los clientes[52]

Adaptado de Muñoz [52]



Sostenibilidad del kaizen

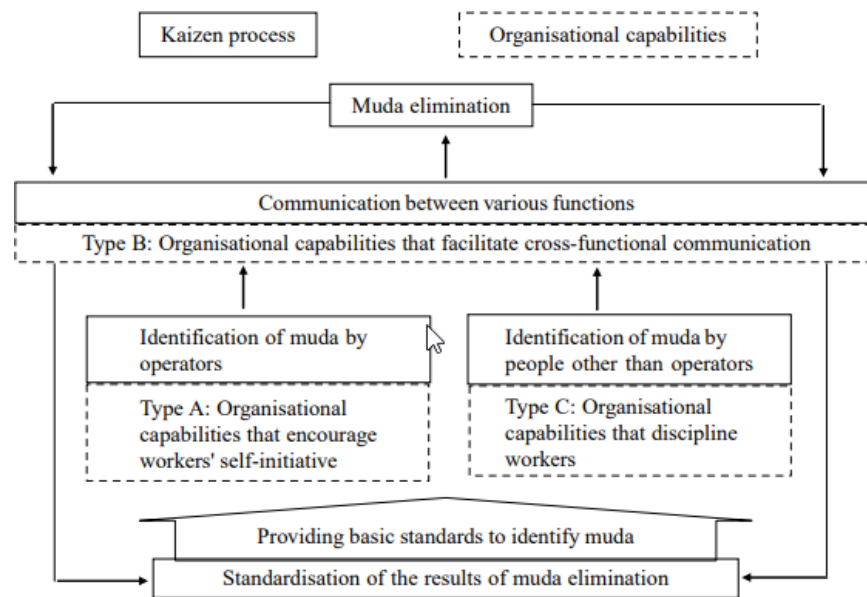
Aoki[68] considera que existe una serie de factores que garantizan una adecuada transferencia del Kaizen y centra su postura de cara a que el aprendizaje y ejecución de actividades Kaizen por parte de los empleados debe ser complementado con el compromiso de los directivos para apoyar las actividades propias de la filosofía, también clasifica a las organizaciones Japonesas que cuentan con modelos estructurados para el desarrollo del Kaizen en 3 tipos de capacidades organizacionales, como se aprecia en la Fig. 3:

- **Tipo A:** Empoderan a los empleados, para que de manera voluntaria sean los responsables directos de las actividades Kaizen y de la identificación de desperdicios.
- **Tipo B:** Generan procesos cruzados de comunicación y conocimiento para identificar los desperdicios.
- **Tipo C:** Lideran procesos Kaizen de manera conjunta y estructurada, promueven la disciplina del mejoramiento en todos los niveles, tanto la alta gerencia como el personal de base se involucran de manera directa y permanente.

Fig. 3

Relación del proceso kaizen y tipos de capacidades organizacionales en Japón

Tomado de Aoki, [18]



A pesar de existir prueba suficiente sobre las ventajas del Kaizen, en muchas oportunidades la implementación resulta difícil y no siempre exitosa, se ha considerado que es posible asegurar el éxito, si desde el inicio se aclaran los conceptos, terminología, formación y objetivos [19]. Se puede afirmar que la transferencia a otros países ha venido en aumento[25], y que pese a la dificultad para mantenerse, existen elementos que deben tenerse en cuenta para que las aplicaciones sean más duraderas [72]:

- Claridad y entendimiento de los objetivos por parte de la dirección.
- Enfoque permanente en la mejora
- Motivación permanente
- Estructuras para detener la reincidencia (“Continuar haciendo lo mismo”)

ESTADO DEL ARTE

La estrategia organizacional y el MC

Las empresas occidentales tienden a establecer beneficios de corto plazo, con una limitada visión corporativa, por otro lado los directivos japoneses buscan permanentemente el éxito, generando altos estándares de calidad con la implementación del MC a nivel estratégico y con visión del largo plazo, lo que permite una búsqueda constante de excelencia, mayor productividad y reducción de costos[73].

La alta gerencia debe fomentar la participación de todos los miembros de la empresa, involucrarse en todos los procesos y comprometerse con el desarrollo de sus estrategias. De hecho, los gerentes son responsables de la implementación del MC y se convierten en el principal motivador, para una adecuada implementación[74], lo cual debe reflejarse también, en beneficios económicos como una de las razones para su atractivo potencial, al permitir beneficiarse del máximo potencial de sus recursos humanos, mientras estos disfrutan de una serie de beneficios. Adoptar un nuevo comportamiento de gestión es, de hecho, una herramienta eficaz para incrementar cercanía y confianza entre gerentes de diferentes departamentos y el resto de la organización, esta comunicación refuerza el compromiso de todos los recursos humanos con los objetivos la estrategia[73].

Algunos investigadores hacen énfasis en que la estrategia de operaciones, la mejora continua y la innovación son fundamentales para alcanzar una ventaja competitiva, también reconocen algunos facilitadores adicionales, como por ejemplo, la gestión por procesos, el involucrar empleados, el compromiso gerencial, el liderazgo y la fijación de objetivos claros, son algunos de ellos[22]. También es necesario que las actividades Kaizen generen valor[75], debe ser factible alcanzar altos estándares de calidad y relacionar actividades de mejoramiento con metas, también debe permitir el desarrollo de las personas[54].

Factores clave de efectividad en la implementación del MC

El modelo de Bessant es ampliamente aceptado y con frecuencia referenciado, para determinar el nivel de efectividad de las implementaciones de mejoramiento continuo en diferentes empresas[72]. Este modelo describe los aspectos de mejoramientos en relación con las prácticas que aplican las empresas, específicamente detalla cinco niveles de evolución que se convierten en habilidades que se desarrollan para la comprensión y construcción del MC [45].

La intención de esta clasificación es entender establecer una comparación con otras empresas en términos del desarrollo de planes y expansión de capacidades de MC, tal como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1

Clasificación empresarial de habilidades de mejoramiento continuo.

Tomado de Bessant[72] y Paipa[76]

NIVEL	CARACTERÍSTICAS DE LA EMPRESA
Nivel 1	Generan mejoras aleatoriamente o tratan de resolver problemas a través de procesos, pero no hay esfuerzos formales o estructurados para mejorar la organización.
Nivel 2	Iniciativas de mejora, y una alta proporción del personal participa, creando así un compromiso formal con la construcción de un sistema de mejoramiento continuo (MC estructurado)
Nivel 3	En el tercer nivel (MC estratégico), la organización se compromete a vincular los comportamientos del mejoramiento continuo con sus preocupaciones estratégicas más amplias.
Nivel 4	En el cuarto nivel (MC proactivo), la organización intenta delegar la autonomía y fortalecer a individuos y grupos para gestionar sus propios procesos
Nivel 5	Demuestra una capacidad persistente para aprender y convertirlo en la capacidad de innovar.

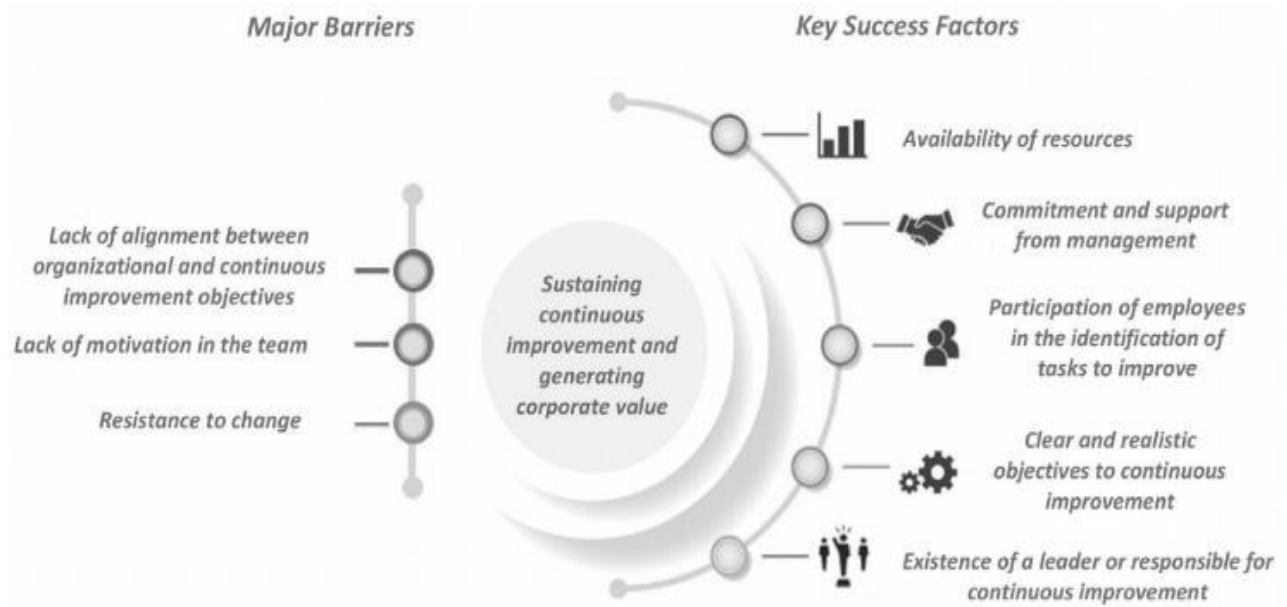
Paipa [72] presenta un consolidado de factores clave y barreras en la implementación del MC en economías emergentes, se resaltan barreras en cuanto a la falta de alineación de los objetivos de las implementaciones de mejoramiento continuo, falta de motivación de los equipos y resistencia al cambio; por otro lado resalta como claves de éxito, la disponibilidad de recursos, el compromiso gerencial, la participación de los empleados en la identificación de tareas de mejoramiento, la claridad

de los objetivos de mejoramiento y la existencia de un responsable que empodere las prácticas de mejoramiento, como se aprecia en la Fig. 4.

Fig. 4

Factores clave y barreras de implementación del MC en economías emergentes.

Tomado de Paipa et al.,[77]



Modelado del MC

Pensamiento sistémico y Dinámica de sistemas (En adelante se usará la sigla SD): Los métodos analíticos y los sistemas de apoyo a las decisiones son elementos clave que soportan la toma de decisiones [78], por lo que tratar de modelar entornos cambiantes con modelos estáticos, puede generar conclusiones limitadas, sobre variables que normalmente infieren en los objetivos. Vera et al., [78] plantean que para estudiar escenarios futuros diferentes y complejos, se pueden dividir los análisis en tres fases:

1. Comprender la situación actual en la que se identifican la mayoría de las variables que influyen en el comportamiento de una organización
2. Comprender los escenarios futuros identificando las variables más influyentes y sus interrelaciones.
3. Generar escenarios a partir de distintas hipótesis sobre el futuro.

Este tipo de procesos permite modelar variables claves e influyentes en los resultados con el fin de predecirlos, de manera dinámica y experimental. La SD es una técnica utilizada para analizar el comportamiento de los sistemas en el tiempo y se puede aplicar a diferentes áreas como la gestión, el medio ambiente, la implementación de políticas, la economía, la salud o la ingeniería[78]. De este modo se convierte en una herramienta que permite crear modelos de simulación para sistemas complejos, mediante representaciones gráficas, conocidos como diagramas de flujos, lo que permite interpretar las relaciones entre variables causales y sus resultados. Los diagramas plasman con claridad la estructura del sistema, por lo que pueden ser interpretados por personas que no disponen de conocimientos profundos, sus resultados resultan de fácil comprensión[31].

El MC es una forma de trabajo organizada que puede ser representada como un sistema dinámico y complejo, existen retos para determinar la efectividad de las implementaciones[31], es necesario determinar su nivel de madurez en las organizaciones y comprender las relaciones causales de sus variables. Si bien se han presentado diferentes maneras de modelarlo, algunas de carácter estático entregan información limitada acerca del problema [30], por lo que cobra sentido presentar modelos con hipótesis dinámicas bajo escenarios diversos. Algunos autores consideran, que paralelamente al desarrollo de la teoría de sistemas y las investigaciones en el pensamiento sistémico, en conjunto con los estudios de cibernética de Jay Forrester en los años setenta, así como las investigaciones de dinámica de sistemas de los años noventa del Instituto Tecnológico de Massachussets, contribuyeron en vincular la teoría de sistemas con el concepto de mejoramiento de procesos [79]–[81].

Los modelos de SD pueden ser ejecutados de la siguiente manera[82]:

- Describir los niveles de acumulación en el sistema que representan los valores actuales de la variable y son el resultado de la diferencia acumulada entre las entradas y las salidas.
- Describir los flujos, que transportan el contenido de un nivel a otro.
- Describir las funciones de decisión, que controlan las tasas de los flujos entre los niveles.
- Describir los canales de información, que conectan los niveles con las funciones de decisión.

Un estudio de Godinho [83] sobre SD en mejoramiento continuo, plantea un enfoque desde un conjunto de variables de estado del sistema en un momento dado, posteriormente se desarrollan ecuaciones que describen la evolución en el tiempo y su relación con parámetros y variables auxiliares que permiten comprender el comportamiento del sistema, en comparación de una base predefinida de un conjunto de condiciones iniciales, las cuales pueden modificarse para evaluar sus comportamientos.

La metodología matemática subyacente al enfoque es la de representar el sistema dinámico como un sistema de ecuaciones diferenciales simultáneas que se resuelven numéricamente. Resalta este autor que SD no se ha utilizado ampliamente para modelar sistemas de mejoramiento, en revisiones de literatura se encontró poca evidencia sobre su aplicación, gran parte de los modelos son planteados bajo simulación de eventos discretos, para variables de estado y resultados estáticos, por lo que el modelado del sistema a nivel agregado relacionado con su evolución en el tiempo, representan una oportunidad de investigación desde SD y MC, este trabajo pretende aportar a este vacío de conocimiento.

Modelado del Mejoramiento continuo en Colombia: Uno de los principales desafíos del país es avanzar en acciones estructurales que permitan que la economía crezca por encima de su potencial. Para ello, es fundamental superar las brechas en materia de productividad con el fin de lograr una inserción más efectiva en las cadenas globales de valor [84], a su vez describen que los sectores de mayor dinamismo son el industrial, el de servicios y el agropecuario; representando un 43% del total de empresas. Entre 2013 y 2017 se presentó un incremento promedio anual de 5.2%.

Cada año se constituyen cerca de 42872 empresas con una tasa de supervivencia del 38%, hecho que resulta relevante en la investigación de causas de fracaso. A su vez un estudio realizado en 2016 describe que el 92.1% de las empresas registradas en el país son microempresas, el 5.9% corresponden a pequeñas empresas, el 1.5% son medianas, y solo el 0.5% son grandes empresas[84]. La entrada y permanencia de empresas depende en gran parte de las condiciones del entorno, se requiere un fortalecimiento empresarial en aspectos internos tales como el direccionamiento estratégico y una adecuada gestión por procesos, que logren mayor articulación entre la planeación, la acción y los resultados con enfoques de largo plazo[39].

Un estudio realizado por León [7], indica que Colombia inició de manera tardía la implementación del mejoramiento continuo, con herramientas como manufactura esbelta, (Metodología de mejoramiento continuo, basada en la eliminación de desperdicios o pérdidas), sus inicios obedecen a la llegada al país de multinacionales con principios Kaizen inmersos en su estrategia corporativa.

León Identifica 4 aspectos clave para el sostenimiento de estas metodologías en otras empresas del país, que coinciden con los 12 elementos habilitadores de [77]:

- Seguimiento e indicadores.
- Compromiso de la dirección.
- Liderazgo
- Entrenamiento.

Se han identificado algunos estudios que tratan de modelar el mejoramiento continuo y la estrategia, es de interés particular para esta investigación el modelo planteado mediante análisis de correspondencias múltiples (ACM) presentado por [85], el cual identifica variables para comprender como la estrategia se apalanca en métodos de calidad y de mejoramiento continuo y los estudios de Paipa y Galeano [72] que presenta un análisis de casos múltiples de los factores de éxito en la implementación de la mejora continua.

Estos modelos aportan en la construcción de esta investigación en el sentido que proporcionan las bases de estudio al identificar variables de efectividad en las implementaciones de MC y sustentan como abordar el vacío de conocimiento de cara al modelamiento con arquetipos dinámicos que evolucionan en el tiempo.

La revisión de literatura permitió identificar 2 artículos que relacionan el MC y SD, en Colombia, pero estos se basan en estudios particulares de modelos de producción y no abordan el enfoque transversal que pretende esta Investigación.

IX METODOLOGÍA

Selección del método: A pesar de existir diversas fuentes que abordan las implementaciones del mejoramiento continuo, la literatura ha informado consistentemente altas tasas de falla, debido a la falta de orientación de alta calidad para gestionar el proceso de implementación, a su vez se presenta oportunidad en el sector servicios, pues la mayoría de conocimiento se centra en la industria manufacturera. Por lo tanto, existe una paradoja que necesita ser investigada: los conceptos existentes revisados en la literatura definen métodos para la implementación exitosa del mejoramiento, aunque en la práctica esto rara vez se cumple.

Resulta oportuno considerar que los métodos analíticos y los sistemas de apoyo a las decisiones son elementos clave que soportan la toma de decisiones, pero tratar de modelar sistemas cambiantes con modelos estáticos o lineales, genera conclusiones limitadas. Es necesario emplear metodologías que involucren el paso de tiempo, ya que visualizar el impacto de las decisiones en determinados horizontes de tiempo, permite evaluar la efectividad de las acciones que se ejecutan sobre los sistemas.

Hechas las consideraciones anteriores en la revisión de los métodos utilizados para modelar implementación del mejoramiento se evidenció el uso de ecuaciones estructurales (SEM)[34], [86], la cual es una técnica multivariable que se aplica en investigaciones de diversas disciplinas debido a su facilidad de explicar relaciones causales entre variables cualitativas y cuantitativas para contrastar modelos teóricos, pero que presenta limitaciones cuando se pretende modelar problemas dinámicos. Adicionalmente se justifico el uso de simulación, esta puede abordarse desde diferentes aspectos basados en el nivel de agregación que se busque para dar las respuestas a diferentes tipos de interrogantes, enfocados en la unidad de análisis, la dinámica del sistema brinda opciones para abordar la retroalimentación, la complejidad dinámica y la racionalidad limitada que existen en el sistema que queremos resolver en esta investigación, proporcionando un marco metodológico que ayuda a evaluar diferentes estrategias [87]. Por lo tanto, el interés de esta investigación es estudiar el comportamiento de los sistemas organizacionales de las industrias de servicio en Antioquia, cuando implementan bajo diferentes escenarios las herramientas de mejoramiento continuo.

Tabla 2

Metodología

Construcción Propia

OE#	Actividades	Estrategia
OE1	Búsqueda en bases de datos: • 1. Se seleccionaron artículos que analizan modelos basados en casos de éxito en la implementación de la mejora continua, identificando las variables de interés abordadas en este tipo de estudios. • 2. Se definieron criterios para la priorización y selección de empresas de servicios en Antioquia que han implementado herramientas de mejoramiento, con el fin de utilizar un análisis multivariado para identificar los indicadores de gestión más relevantes. • 3. Se seleccionaron empresas de servicios que no han implementado herramientas de mejora continua, analizando sus principales indicadores de gestión para comparar resultados y detectar oportunidades de mejora.	Se utilizará el modelo de Bessant para determinar el nivel de efectividad de las implementaciones de mejoramiento continuo y la investigación de Paipa [20] que presenta un análisis de casos sobre los factores de éxito en la implementación de la mejora continua, este presenta una síntesis de los principales habilitadores y barreras para la implementación del mejoramiento continuo en economías emergentes.
	Diseño: • Realizar el diagrama de causalidad. • Estructurar los modelos matemáticos propios de dinámica de sistemas, basados en la información histórica de las empresas seleccionadas. Por lo tanto, se realizará el estudio con información de fuentes primarias de la industria de servicios obtenidas de bases de datos públicas de Colombia, principalmente de https://www.datos.gov.co/. Adicionalmente se cuenta con información de una empresa del sector financiero que se encuentra en etapa de implementación de la metodología lean Six Sigma y se solicitará información al centro de ciencia y tecnología de Antioquia, el cual lleva cerca de diez años trabajando en temas de mejoramiento continuo en Antioquia. • Construir el modelo de simulación con dinámica de sistemas, basados en el Modelo de Sterman. • Construir escenarios para evaluar el comportamiento de políticas: Consolidar estrategias y políticas utilizadas en la implementación del mejoramiento en empresas de servicios en Antioquia • Validar y Verificar el modelo. • Analizar los resultados del modelo	• Consolidar información, y aplicar la metodología de modelado de procesos mediante pensamiento sistémico, planteado por Sterman. (Esta metodología es la base teórica sobre la cual se plantea dar solución y será explicada en detalle en la próxima sección). • Se espera como resultado realizar una selección adecuada de estrategias en la implementación del mejoramiento en empresas de servicios en Antioquia.

OE3	- Definir las conclusiones del modelo de simulación. - Presentar el modelo de evaluación de la efectividad en implementaciones de MC. - Proponer estrategias que respondan de manera efectiva en las implementaciones del mejoramiento continuo en empresas de servicios en Antioquia	Proponer políticas que potencien la implementación del MC, basados en el comportamiento de los indicadores de Gestión y las variables clave que intervienen. El cumplimiento de este objetivo permitirá determinar la efectividad de la implementación del mejoramiento continuo en empresas de servicios en Antioquia, el cual constituye el objetivo general de este trabajo de investigación.
-----	---	--

La metodología de simulación de esta investigación va a emplear el modelo de Sterman de la Tabla3, el cual consiste en cinco grandes etapas que parten del entendimiento del problema, posteriormente se deben desarrollar las hipótesis dinámicas que expliquen las causas del problema, el paso siguiente es la construcción del modelo de simulación, luego se realizan pruebas sobre el modelo para verificar que reproduce de forma satisfactoria el comportamiento observado en la realidad y finalmente se prueban diferentes alternativas, estrategias o políticas que solucionen el problema.

Tabla 3

Pasos para el modelado de procesos

Tomado de Sterman [21]

FASE	ACTIVIDAD	CONSIDERACIONES
Articulación del problema (selección de límites)	Selección de tema	¿Cuál es el problema?
	Variables clave	¿Por qué es un problema?
	Horizonte de tiempo	"¿Cuáles son las variables y conceptos clave que debemos considerar?"
	Definición dinámica del problema	("Simulación Aplicada a la Logística - Technological University of Panama")
	(modos de referencia)	¿Qué tan lejos en el futuro deberíamos considerar?
		¿Qué tan lejos en el pasado está en las raíces del problema?
		¿Cuál es el histórico comportamiento de los conceptos y variables clave?
		¿Cuál podría ser su comportamiento?

Formulación de hipótesis dinámicas	Generación de hipótesis inicial: Enfoque endógeno	¿Cuáles son las teorías actuales del comportamiento problemático? Formule una hipótesis dinámica que explique la dinámica como consecuencias endógenas de la estructura de retroalimentación.
	Formulación de hipótesis dinámicas Mapeo: Desarrollar mapas de estructura causal basados en hipótesis iniciales, variables clave, modos de referencia y otros datos disponibles	• Modelos de diagramas de límites. • Diagramas de subsistemas. • Diagramas de bucle causal. • Mapas de stock y flujo. • Diagramas de estructura de políticas. • Otras herramientas de facilitación.
Formulación de un modelo de simulación	Especificación de estructura	Reglas de decisión.
	Estimación de parámetros Prueba la coherencia	Relaciones de comportamiento y condiciones iniciales. Con el propósito y el límite.
Pruebas	Comparación con los modos de referencia	¿El modelo reproduce el comportamiento problemático de manera adecuada para su propósito?

5	Robustez en condiciones extremas	¿Se comporta el modelo de manera realista cuando esta estresado por condiciones extremas?
		¿Cómo se comporta el modelo dada la incertidumbre en los parámetros, las condiciones iniciales, límite del modelo y agregación?
	Especificación del escenario	¿Qué condiciones ambientales pueden surgir?
	Diseño de políticas	¿Qué nuevas reglas, estrategias y estructuras de decisión se podrían probar en el mundo real?
		¿Cómo se pueden representar en el modelo?
	Análisis “What if” (Y Si)	¿Cuáles son los efectos de las políticas?
		¿Qué tan sólidas son las recomendaciones de política bajo escenarios e incertidumbres dadas?
	Interacciones de las políticas	¿Las políticas interactúan?
		¿Hay sinergias o respuestas compensatorias?
	Diseño y evaluación de políticas	

Desarrollo de la metodología basado en dinámica de sistemas

1. Articulación del problema

El problema identificado es la dificultad en la implementación efectiva de herramientas de Mejoramiento Continuo (MC) en empresas de servicios antioqueñas. Esto es un problema porque las barreras internas limitan la capacidad de estas empresas para mejorar su eficiencia operativa, reducir costos y aumentar la satisfacción del cliente, afectando así su competitividad y sostenibilidad a largo plazo.

Explicación de las variables clave

i. **Valor económico agregado (EVA):** Medida absoluta de desempeño organizacional que permite apreciar la creación de valor, la cual también permite medir la calidad de las decisiones gerenciales. La utilidad de las actividades ordinarias antes de intereses y después de impuestos (UAIDI) (-) el valor contable del activo (x) el costo promedio del capital. Se mide anualmente.

ii. **Utilidad operacional neta:** La utilidad neta es la ganancia de una empresa a través de sus ventas pero descontando no solo los gastos de producción, sino también de distribución, logística, gastos operativos, impuestos y obligaciones.

iii. **Valor contable de los activos:** Valor en libros de las adquisiciones para la operación de la empresa.

iv. **Ingresos:** Incremento de los recursos económicos provenientes de la actividad comercial de la empresa. Se mide mensualmente.

v. **Egresos:** Salida de recursos financieros con el fin de cumplir un pago. Se mide mensualmente.

vi. **Número de clientes Totales:** Mide la cantidad de clientes que permanecen activos al finalizar un periodo de tiempo. Se mide mensualmente.

vii. **Nivel de satisfacción del cliente:** Evaluación objetiva de la percepción del cliente sobre los servicios que le presta la empresa, puede darse en escala de 0 a 5. Se mide semestralmente.

viii. **Cantidad de quejas:** Mide la cantidad total de quejas que ingresan a la empresa por unidad de tiempo. Se mide mensualmente.

ix. **Costo de los productos:** está conformado por el costo de los materiales directos más el costo de la mano de obra directa, más el total de los costos indirectos de fabricación. Se mide mensualmente.

x. **Eficiencia global del equipo (Overall Equipment Efficiency):** se mide mensualmente, es un indicador clave utilizado en la gestión de la producción y mantenimiento industrial. Su propósito es medir la eficiencia de un equipo o de una planta en cuanto a su capacidad para producir productos de calidad, en tiempo y cantidad óptimo.

-
- xi. **Disponibilidad:** Mide el tiempo total durante el cual el sistema permanece fuera de operación.
- xii. **Desempeño:** Mide el índice de velocidad real de operación del sistema.
- xiii. **Calidad:** Mide la cantidad de artículos malos sobre el total producido.
- xiv. **Número de proyectos de mejoramiento terminados:** Cantidad de iniciativas que culminaron al finalizar la unidad de tiempo. Se mide mensualmente.
- xv. **Número de procesos mejorados:** Mide la cantidad de procesos que han sido mejorados en una unidad de tiempo. Se puede medir semestralmente.
- xvi. **ROI de proyectos de mejoramiento:** Es una métrica usada para saber cuánto la empresa ganó a través de sus inversiones en mejora de procesos. Se mide al finalizar proyectos de mejora.
- xvii. **Índice de rotación de las personas:** Porcentaje total de colaboradores que abandonan una organización en un periodo de tiempo determinado.
- xviii. **Competencias clave del personal:** Brecha entre el estado actual y el esperado.
- xix. **Presupuesto de formación:** Valor total invertido en formación por unidad de tiempo incluido el destinado al mejoramiento continuo. Se mide mensualmente.
- xx. **Satisfacción del personal:** Es la actitud general que tiene un individuo hacia su empleo, dicha actitud se basa en las creencias, expectativas y valores que desarrolla cada trabajador de su propio trabajo. Se puede medir mensualmente como una encuesta de percepción.
- xxi. **ILUO:** Sistema de formación implementado por Toyota a mediados del siglo XX y especialmente útil en aquellas empresas industriales en las que se realizan procesos productivos muy técnicos y críticos, en una escala de 1 a 4 de la siguiente manera - I (Principiante), II (Conocedor), III (Experto), IV (Maestro) -.

La dinámica asociada a las variables descritas previamente se puede observar en la Fig. 6.

Horizonte de tiempo

- **Futuro:** Se considera un horizonte de 5 a 10 años para evaluar los impactos a largo plazo de las mejoras implementadas.
- **Pasado:** Las raíces del problema se analizarán a partir de los últimos 10 años, para comprender el desarrollo histórico de las prácticas de MC y su impacto en las variables clave.

2. Definición dinámica del problema (Modos de referencia)

Las variables como el EVA, la Satisfacción del Cliente, y el ROI de Proyectos pueden presentar fluctuaciones en los últimos años de la simulación debido a una implementación inconsistente de MC, para los datos de ejemplo tomados al correr el modelo. Estas variables tienen el potencial de mejorar significativamente con una estructura de MC más sólida. Se espera que, con la implementación efectiva de MC, las variables clave muestren una mejora continua, reflejando un aumento en la eficiencia operativa, reducción de costos, y una mayor satisfacción del cliente, así como el aumento del EVA.

En este estudio se propone validar científicamente el modelo de dinámica de sistemas que relaciona indicadores financieros y factores internos de la organización. En particular, nos enfocamos en dos relaciones funcionales clave del modelo: (1) ROI vs. Inversión y (2) EVA vs. Motivación. El ROI (Return on Investment) se plantea en la formulación propuesta como:

$$\text{ROI} = \text{Eficiencia} \times \text{Motivación} \times \frac{\text{Ingresos} - \text{Inversión}}{\text{Inversión}},$$

mientras que el EVA (Economic Value Added o Valor Económico Agregado) se hipotetiza vinculada al nivel de motivación del personal. Para respaldar estas relaciones de manera rigurosa, realizaremos un análisis estadístico multivariado que incluye técnicas de regresión múltiple, análisis factorial y análisis de componentes principales, según lo permitan los datos disponibles. El objetivo es comprobar si la estructura estadística de los datos sustenta las formulaciones propuestas del modelo de dinámica de sistemas y los objetivos de investigación.

Metodología Propuesta

Para abordar la validación del modelo, se seguirán varios pasos analíticos empleando técnicas multivariadas. A continuación describimos brevemente cada técnica y su propósito en el contexto de este análisis:

Regresión Múltiple: Permite cuantificar la relación entre una variable dependiente y varias independientes de forma simultánea. Aplicaremos regresiones lineales múltiples para examinar (a) cómo el ROI depende de la Inversión y otros factores (como Eficiencia y Motivación), y (b) cómo el EVA depende de la Motivación junto con posibles variables adicionales. Esto ayudará a determinar la significancia y el peso de cada factor en las fórmulas propuestas.

Análisis Factorial Exploratorio: El análisis factorial (AF) es una técnica que identifica variables latentes (no observadas) llamadas factores que explican las correlaciones entre las variables observadas. Mediante AF exploratorio podremos descubrir si existe algún factor subyacente que vincule, por ejemplo, la Inversión y el ROI (representando quizá un factor de rendimiento financiero), o la Motivación y el EVA (posiblemente un factor de desempeño organizacional), entre otras combinaciones. Esto nos indicaría si las variables del modelo se agrupan de forma coherente con las relaciones supuestas.

Análisis de Componentes Principales (PCA): El PCA es una técnica de reducción de la dimensionalidad que transforma un conjunto de variables correlacionadas en un conjunto más pequeño de componentes principales que retienen la mayor parte de la varianza original. Aplicaremos PCA a los datos para observar patrones y tendencias generales: por ejemplo, verificar si la mayor parte de la variabilidad de ROI, Inversión, EVA, Motivación, etc., se explica en uno o dos componentes dominantes. Si las formulaciones propuestas son correctas, podríamos esperar que variables vinculadas por el modelo tengan cargas importantes en un mismo componente principal (por ejemplo, ROI con Eficiencia/Motivación, o EVA con Motivación).

Plan de Análisis

Con el conjunto de datos seleccionado, el cual se obtuvo de una empresa aseguradora de Antioquia, con este conjunto de datos se implementará el siguiente plan de trabajo multivariado:

Preparación de los Datos: Importar el archivo Excel y verificar la integridad de los datos. Se examinan las variables disponibles – ROI, Inversión, Eficiencia, Motivación, Ingresos, EVA, etc. – asegurando su correcta tipificación y se limpian valores atípicos o faltantes. También se pueden crear variables derivadas necesarias.

Análisis Descriptivo Inicial: Se calculan estadísticos descriptivos (media, desviación estándar, mínimos, máximos) de las variables clave y construir la matriz de correlaciones entre ellas. Este paso exploratorio permitirá observar directamente las asociaciones bivariadas, como la correlación ROI–Inversión y EVA–Motivación, proporcionando una primera verificación cualitativa de las hipótesis. Si, por ejemplo, ROI está fuertemente correlacionado con la inversión (negativamente, dado el denominador en la fórmula) o EVA muestra correlación positiva con Motivación, serían indicios preliminares a favor del modelo.

Regresiones Múltiples: Se formula y se ajusta el modelo de regresión lineal múltiple: ROI como variable dependiente: Se prueban modelos donde $ROI = f(\text{Inversión, Eficiencia, Motivación, otros})$, junto con indicadores de Eficiencia y Motivación. Esto permitirá cuantificar cuánto contribuye cada componente al ROI y si sus coeficientes son estadísticamente significativos (por ejemplo, esperamos coeficientes positivos para Eficiencia y Motivación si efectivamente multiplican la fracción financiera en la realidad).

EVA como variable dependiente: Se ajustará un modelo donde $EVA = f(\text{Motivación, otras variables pertinentes})$. Aquí examinaremos si la Motivación del personal tiene un impacto significativo en el EVA, controlando por posibles factores adicionales (por ejemplo, inversiones de capital, ventas, etc., si están presentes en el dataset). Un coeficiente positivo y significativo para Motivación respaldaría la hipótesis de que empleados más motivados contribuyen a mayores valores agregados económicos.

Para cada regresión, revisaremos los estadísticos de bondad de ajuste (R^2 ajustado), la significancia estadística global (p-valor del modelo) y particular de cada coeficiente (t-stats y p-valores individuales). También evaluaremos supuestos de regresión (linealidad, independencia de errores, homocedasticidad y normalidad de residuos) mediante diagnósticos habituales. Estos resultados permitirán verificar si las relaciones funcionales tienen sustento estadístico lineal.

Análisis factorial componentes principales: Aplicaremos análisis factorial exploratorio y/o PCA sobre el conjunto de variables relevantes del modelo (por ejemplo ROI, Inversión, Ingresos, Eficiencia, Motivación, EVA, etc.). El objetivo será identificar factores o componentes que agrupen las variables de forma consistente con las relaciones teóricas:

Podría emerger un factor financiero donde carguen fuertemente ROI, Ingresos e Inversión (y posiblemente EVA si está ligada a desempeño financiero), separándose de un factor humano/organizacional donde carguen Motivación, Eficiencia u otras medidas internas. Si además vemos que factores financieros e internos se relacionan (p. ej., una alta motivación elevando simultáneamente un factor que influye en ROI y EVA), sería evidencia a favor de la dinámica propuesta en el modelo.

El análisis de componentes principales complementará esto mostrando qué combinaciones lineales de variables explican mayor varianza. Por ejemplo, un primer componente principal podría reflejar "tamaño/escala de la inversión y resultados" (combinando Inversión, Ingresos, ROI) mientras que un segundo componente podría reflejar "factor humano" (Motivación, Eficiencia, etc.). Evaluaremos las varianzas explicadas por cada factor/componente y las cargas factoriales, comparándolas con las expectativas del modelo.

Interpretación Integral: Finalmente, integraremos los hallazgos de las regresiones y de los análisis factoriales/PCA. Contrastaremos cuantitativamente los resultados con las fórmulas propuestas. Por ejemplo, si el producto Eficiencia×Motivación resulta ser un predictor significativo de ROI (ya sea directamente en regresión o a través de un factor común), se considerará validada la relación ROI–Inversión–Eficiencia–Motivación según el modelo. De igual manera, confirmaremos si la Motivación muestra el efecto previsto sobre EVA. Cualquier discrepancia importante (por ejemplo, si la inversión explica ROI de forma diferente a la formulación dada, o si la motivación no influye en EVA) será analizada para refinar o rechazar aspectos del modelo de dinámica de sistemas.

a) Modelo para ROI: se ajusta un modelo de regresión lineal múltiple con ROI como variable dependiente y Inversión, Eficiencia y Motivación como variables independientes. La ecuación teórica se plantea de la forma:

$$ROI = \beta_0 + \beta_1 \cdot Inversión + \beta_2 \cdot Eficiencia + \beta_3 \cdot Motivación + \epsilon$$

b) Modelo para el EVA: se plantea un modelo de regresión sencillo:

$$EVA = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot Motivación + \eta$$

Análisis de Componentes Principales (PCA) y Análisis Factorial

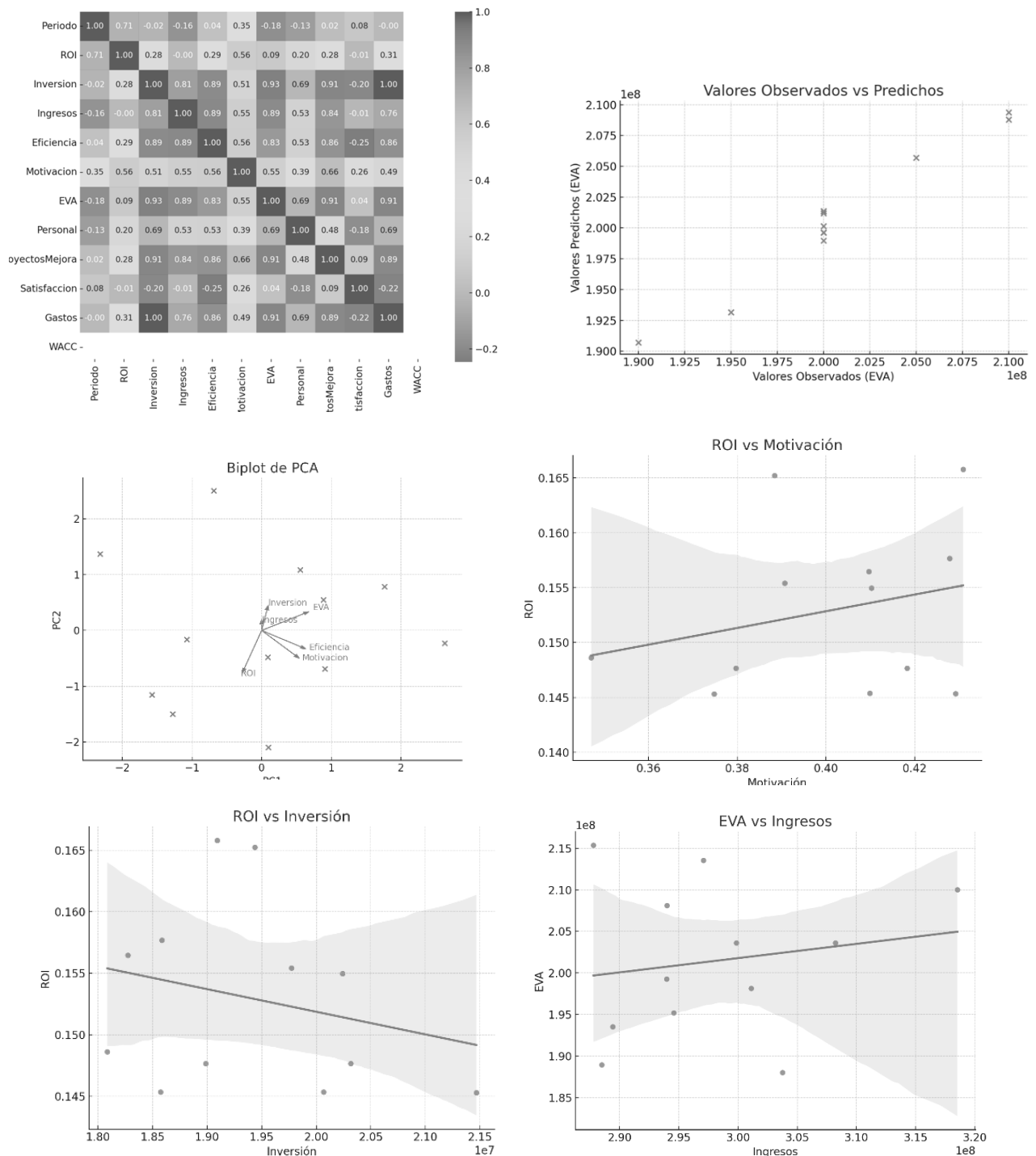
El PCA se utilizará para reducir la dimensionalidad del conjunto de datos y revelar las combinaciones lineales (componentes) que explican la mayor parte de la variabilidad.

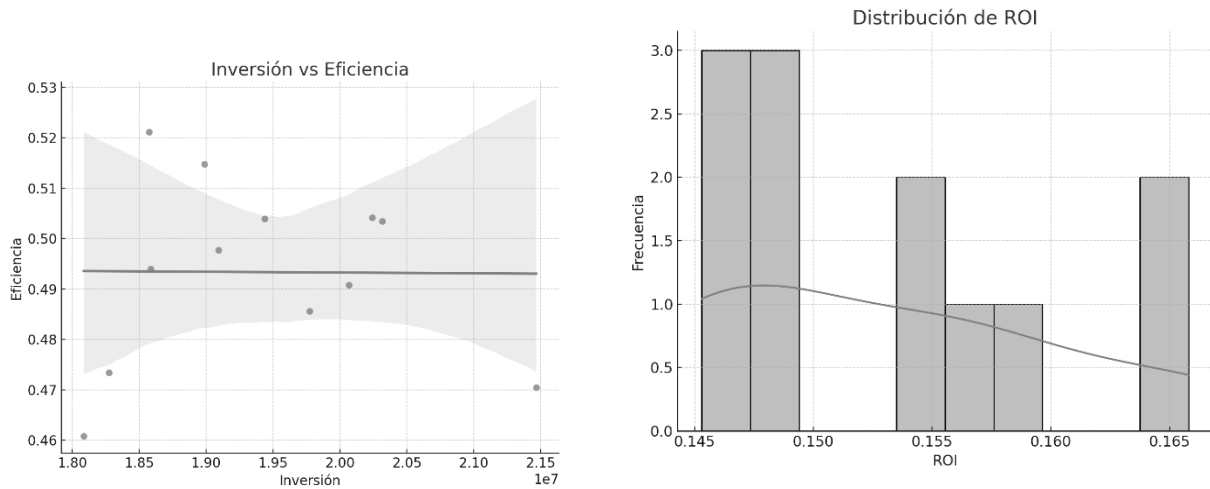
El análisis factorial complementará este enfoque, identificando factores latentes que expliquen las correlaciones entre las variables y permitiendo validar si la estructura de relaciones como por ejemplo, la influencia de la Motivación sobre EVA y ROI, es consistente con las hipótesis del modelo como se observa en las figuras siguientes:

Fig. 5

Analisis multivariado

Construcción propia





Histograma de Residuos del Modelo de Regresión para ROI: Este gráfico muestra la distribución de los residuos del modelo de regresión múltiple (ROI vs. Inversión, Eficiencia y Motivación). La distribución de los residuos se aproxima a una distribución normal, lo que sugiere que el modelo cumple con el supuesto de normalidad de los errores. La dispersión simétrica alrededor de cero indica que no existe un sesgo sistemático en la predicción, como se observa en la Fig. 6.

Boxplot de Variables Clave: Se presenta un boxplot comparativo para las variables Inversión, ROI, Eficiencia y Motivación. Se observan algunas variaciones y posibles valores atípicos en la variable Inversión, lo que puede influir en el modelo. Las variables ROI, Eficiencia y Motivación presentan una distribución más concentrada, lo que respalda su estabilidad y consistencia para el análisis.

Diagrama de Dispersión de EVA vs. Ingresos: Este gráfico muestra la relación entre EVA e Ingresos, permitiendo explorar si existe una relación directa que complemente la relación de EVA con la Motivación. Se evidencia una tendencia positiva, lo que sugiere que mayores ingresos pueden contribuir a un aumento en el EVA. Esta relación respalda la idea de que la eficiencia operativa (reflejada en mayores ingresos) incide en la generación de valor económico.

3. Formulación de hipótesis dinámica

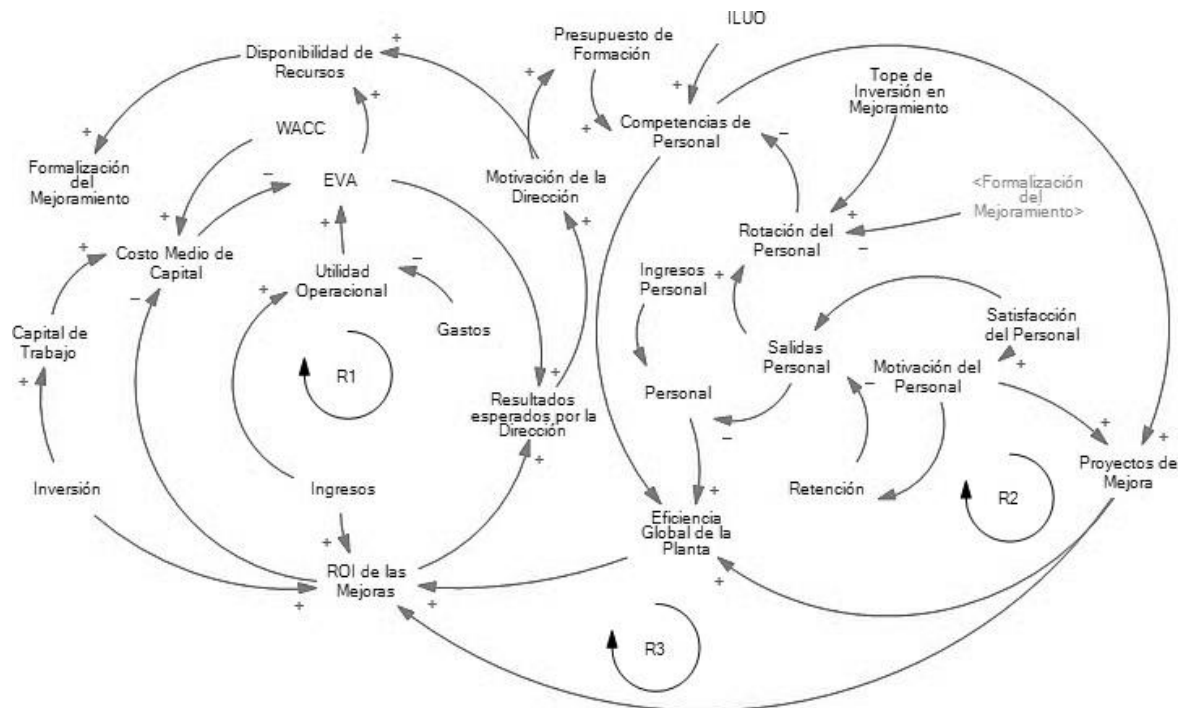
La hipótesis inicial es que la mejora continua en las empresas de servicios se ve limitada por una falta de motivación del personal, insuficientes recursos asignados por la dirección, y una cultura organizacional que no fomenta la innovación. La dinámica del problema puede explicarse como una consecuencia de la estructura de retroalimentación interna, donde la baja motivación del personal y la falta de recursos conducen a una menor implementación de proyectos de mejora, afectando negativamente la eficiencia global y la satisfacción del cliente.

Se desarrollarán diagramas de bucle causal y mapas de stock y flujo para visualizar las interacciones entre las variables clave y cómo estas influyen en el desempeño organizacional. Estos diagramas ayudarán a identificar los puntos de apalancamiento para mejorar el sistema.

Fig. 6

Diagrama causal

Construcción propia



Las relaciones que están representadas en el modelo causal se detallan a continuación:

- A más expectativas y resultados esperados de la dirección, se incrementa la motivación de la dirección.
- A mayor motivación de la dirección, mayor compromiso y disponibilidad de recursos, ya que es la dirección quien destina los recursos; lo que representa un compromiso sobresaliente, basado en los incentivos que genera mejorar los procesos.
- A mayor compromiso de dirección se manifiesta la definición de los objetivos, que a su vez aumenta la motivación del personal; ya que al tener las metas claras se puede determinar planes de acción y controles dentro de la organización.
- La disponibilidad de recursos definidos por la dirección en relación directa con la motivación, aumentan el presupuesto de formación para el personal que a la vez aumenta la motivación de estos. Esto ocurre gracias al tener un presupuesto para el crecimiento tecnológico de los empleados estos presentan una motivación en el área de trabajo.
- En una relación directamente proporcional la motivación aumenta la satisfacción personal y viceversa.
- A mayor satisfacción del personal disminuye la rotación, debido a que se presentan una reducción en renuncias, salidas, despidos, entre otros.
- La rotación del personal y el presupuesto de formación aumenta las competencias personales, gracias a la inversión en formación de empleados.
- Las competencias y motivaciones personales aumentan los proyectos de mejora, ya que al tener proyectos para un mejoramiento continuo el personal es esencial para su desarrollo.
- A mayor disponibilidad de recursos, mayor formalización del mejoramiento y a la vez mayor presupuesto para proyectos de mejora, esto se debe a mayor cantidad de recursos para los proyectos a desarrollar.
- A mayor cantidad de proyectos de mejora, se incrementa el número de procesos mejorados. Esto sucede ya que, al tener proyectos de identificación de errores y mejoras en la organización, los procesos son reforzados.
- Los proyectos de mejora aumentan la disponibilidad, desempeño y calidad, que a su vez aumentan a la eficiencia global de equipos (*EGE*). Esta razón porcentual para medir el aprovechamiento de la máquina está relacionada directamente con las variables mencionadas anteriormente.
- A mayor calidad, menor número de quejas. Esto sucede gracias a que se presenta una mejor prestación del servicio.

-
- A la vez al presentar un mejor servicio, aumentan el número de clientes y logran aumentar los ingresos.
 - Se crea una relación entre las quejas y la satisfacción del cliente, esto ocurre gracias a que si hay quejas disminuye la satisfacción del cliente y si aumenta la satisfacción del cliente disminuyen las quejas.
 - La motivación del personal, el EGE, seguimiento de la dirección y procesos mejorados potencian directamente el retorno sobre la inversión, ROI de las mejoras, es de gran importancia ya que permite calcular y valorar las ganancias que resultan de una inversión en la compañía.
 - A mayor ROI de las mejoras, aumentan los resultados esperados de la dirección. Esto ocurre gracias a que un buen retorno de inversión es uno de los resultados esperados.
 - Un aumento en el ROI de las mejoras disminuye los gastos y el costo medio de capital.
 - La disminución de gastos aumenta la utilidad neta.
 - El precio de venta aumenta la utilidad neta.
 - El costo medio de capital y el valor activo disminuyen el EVA, es una relación inversa ya que entre más costo medio y valores activos se disminuye el valor económico agregado.
 - A mayor utilidad neta mayor UAIDI
 - A mayor UAIDI se incrementa el EVA.
 - A mayor EVA se aumentan los resultados esperados de la dirección, ya que a mayor rentabilidad un mayor cumplimiento de metas.

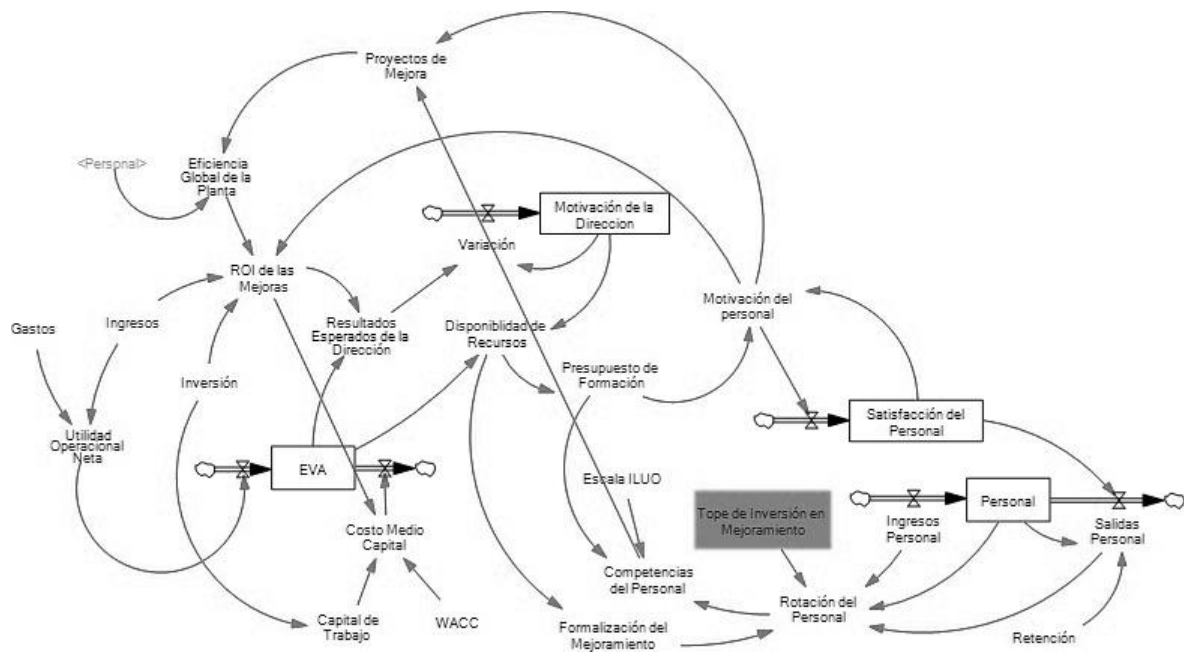
4. Formulación de un Modelo de Simulación Especificación de estructura

Las reglas de decisión en el modelo estarán basadas en cómo la dirección asigna recursos para proyectos de MC y cómo estos recursos impactan en la motivación del personal y la eficiencia global.

Fig. 6

Modelo de flujos y niveles

Construcción propia



Para la construcción del diagrama de flujos y niveles se utilizará una aproximación del diagrama causal de la Fig. 1, así mismo una investigación de la literatura donde se recopiló información para una comprensión general [88], [89].

Inicialmente se presentan niveles en el eva, roi, motivación de la dirección, motivación personal de trabajo, personal de la compañía y EGE. Al ser un diagrama que contiene la mayoría del proceso de la organización se presentan diferentes ciclos en la modelación, uno de los principales evidenciado en la rotación del personal. Con lo mencionado anteriormente se agregaron “variables shadow” las cuales se agregan para mejorar la visibilidad del modelo y evitar conexiones cruzadas, estas no interfieren y mantienen el mismo comportamiento de la variable inicial definida.

Formulación matemática:

Identificación y Definición de Variables: El primer paso consistió en identificar las variables fundamentales que influyen en el comportamiento del sistema. Cada variable se definió basándose en estudios previos y en la experiencia empírica de la gestión en procesos de mejoramiento continuo. Por ejemplo, se determinó que el Capital de Trabajo es proporcional a la Inversión, lo que se expresa como:

$$\text{Capital de Trabajo} = \text{Inversión} \times 0.2$$

Este coeficiente del 20% se eligió considerando que, en muchas industrias, una parte fija de la inversión se destina al capital operativo.

Estructuración en Stocks y Flujos: En Dinámica de Sistemas se utiliza la estructura de stocks (acumuladores) y flujos (tasa de cambio) para representar la evolución de las variables en el tiempo. Por ejemplo, para la variable EVA (Economic Value Added), se usa la función integradora que acumula la diferencia entre la utilidad operativa neta y el costo medio del capital:

$$\text{EVA}(t) = \int_0^t (\text{Utilidad Operacional Neta} - \text{Costo Medio Capital}) dt + \text{EVA}_0$$

donde $\text{EVA}_0 = 1 \times 10^6$ representa el valor inicial de EVA.

Establecimiento de Relaciones Funcionales: Las relaciones entre variables se establecen mediante funciones algebraicas y condicionales que capturan la lógica subyacente del sistema. Un ejemplo es la ecuación que define las Competencias del Personal. Esta variable depende del efecto combinado del Presupuesto de Formación y la Rotación del Personal, promediados para considerar su influencia equilibrada:

$$\text{Competencias del Personal} = \text{Escala ILUO} \left(\frac{\text{Presupuesto de Formación}/1 \times 10^9 + \text{Rotación del Personal}}{2} \right)$$

La función Escala ILUO se diseña para mapear los valores resultantes a una escala adecuada, lo que permite normalizar y comparar efectos de magnitudes diferentes.

Otra relación condicional se da en la Motivación del Personal:

$$\text{Motivación del Personal} = \begin{cases} 0.001, \\ \frac{\text{Presupuesto de Formación}}{1 \times 10^8} \times (1 - \text{Satisfacción del Personal}), \end{cases}$$

si $\frac{\text{Presupuesto de Formación}}{1 \times 10^8} \times (1 - \text{Satisfacción del Personal}) < 0$
 en otro caso

Esta fórmula garantiza que la motivación no adquiera valores negativos, reflejando la observación empírica de que la relación entre el presupuesto y la satisfacción debe mantenerse en el rango positivo.

Funciones de Escala y Normalización: En algunos casos, la relación entre variables requiere transformar la escala de medición para que los valores sean coherentes en términos de magnitud y unidades. La función Escala ILUO se define de manera que mapea intervalos de entrada a intervalos de salida preestablecidos. Aunque la definición completa de esta función se detalla en una sección posterior, su estructura general es la siguiente:

$$\text{Escala ILUO}(x) = \begin{cases} a_1x + b_1, & x \in [0, c_1] \\ a_2x + b_2, & x \in (c_1, c_2] \\ \vdots \\ a_nx + b_n, & x \in (c_{n-1}, 1] \end{cases}$$

donde a_i y b_i son parámetros de ajuste determinados mediante calibración empírica, y c_i son los puntos de corte de los intervalos.

Consistencia Unitaria y Validación Empírica: Cada ecuación fue validada en cuanto a la coherencia de unidades. Por ejemplo, el Costo Medio Capital se define como:

$$\text{Costo Medio Capital} = \text{Capital de Trabajo} \times \text{WACC}$$

Aquí, se garantiza que el producto de una cantidad monetaria Capital de Trabajo y un porcentaje WACC resulte en una tasa o costo expresado en unidades consistentes con el análisis financiero.

Integración y Retroalimentación del Sistema: Una vez definidas las relaciones individuales, se integraron en un sistema global que modela las interacciones y retroalimentaciones. La integración se realiza a través de ecuaciones diferenciales que permiten simular la evolución en el tiempo. Por ejemplo, la Motivación de la Dirección se modela como un stock cuya variación depende de una tasa de cambio definida por la variable Variación:

$$\text{Motivación de la Dirección}(t) = \int_0^t \text{Variación} dt + \text{Motivación de la Dirección}_0$$

donde Motivación de la Dirección 0.25 es el valor inicial.

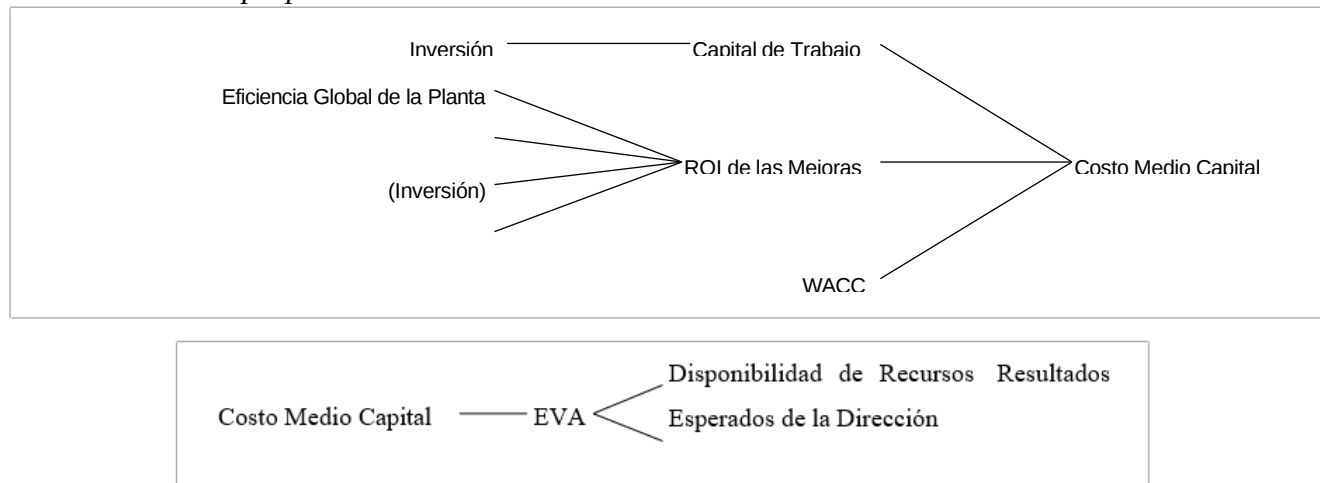
La Variación se define mediante una función condicional para asegurar que el cambio en la motivación se mantenga en un rango controlado:

$$\text{Variación} = \begin{cases} \frac{\text{Resultados Esperados de la Dirección} \times (1 - \text{Motivación de la Dirección})}{2 \times 10^8}, \\ 0, \end{cases}$$

$$\begin{aligned} &\text{si } \frac{\text{Resultados Esperados de la Dirección} \times (1 - \text{Motivación de la Dirección})}{2 \times 10^8} < 1 \\ &\text{en otro caso} \end{aligned}$$

Este enfoque basado en integrales y funciones condicionales permite que el modelo capture de manera dinámica la evolución de las variables, considerando los efectos acumulativos y las retroalimentaciones inherentes a los sistemas complejos.

Fig. 6
Principales relaciones del modelo
Construcción propia



Estimación de parámetros: Los parámetros del modelo se estimarán utilizando datos históricos sobre inversión en formación, proyectos de mejora, y resultados de satisfacción del cliente, ajustando el modelo para reflejar con precisión las relaciones de comportamiento observadas, en la empresa patrón. Basados en las dependencias e influencias de las Fig. 8.

Prueba la coherencia: Se verificó que el modelo sea coherente con el propósito del estudio y los límites definidos, asegurando que represente adecuadamente las dinámicas del sistema de MC en las empresas de servicios, basados en entrevista con expertos de la empresa que proporcionó los datos de prueba, los cuales están representados en el modelo de flujos y niveles.

5. Pruebas

Comparación con los modos de referencia: El modelo se comparó con los datos históricos para validar que reproduce adecuadamente el comportamiento problemático, ajustando cualquier discrepancia para mejorar la precisión.

- i. *Robustez en condiciones extremas:* Se evaluó la robustez del modelo sometiénolo a escenarios extremos, como una reducción drástica en el presupuesto de formación, para observar si mantiene un comportamiento realista en la variable de salida EVA.
- ii. *Sensibilidad:* Se realizó un análisis de sensibilidad para determinar cómo las incertidumbres en los parámetros afectan el comportamiento del modelo, identificando las variables más críticas.

6. Diseño y Evaluación de Políticas Especificación del escenario

Se definen escenarios como cambios en las políticas de la empresa como por ejemplo no invertir en MC, bajo compromiso de la dirección, etc., para evaluar cómo estos factores externos pueden influir en el sistema de MC, que pueden visualizarse en las tablas 4 y 5.

Tabla 4

Escenarios del modelo

Construcción propia

Escenario	Descripción	Efectos Esperados
1. Reducción en el Presupuesto de Formación	Disminución del presupuesto de formación que afecta las competencias del personal, los proyectos de mejora y el ROI de las mejoras.	Competencias del personal: Se ven afectadas negativamente, disminuyen: Proyectos de mejora, ROI de las Mejoras, EVA.
2. Incremento en la Motivación de la Dirección	Aumento en la motivación de la dirección, lo que lleva a una mayor disponibilidad de recursos y mayores inversiones en proyectos de mejora.	Disponibilidad de recursos aumenta, se aumentan Formalización del mejoramiento, eficiencia global de la planta, ROI de las Mejoras.
3. Aumento en la Rotación del Personal	Aumento en la rotación del personal debido a insatisfacción, lo que impacta la continuidad de los proyectos y la calidad del trabajo.	Rotación del Personal: Aumenta, competencias del personal se reduce, se reducen los proyectos de mejora, y el EVA.
4. Reducción de Inversión en Mejoramiento	Reducción en la inversión en mejoramiento continuo, afectando recursos disponibles y la implementación de mejoras.	Disponibilidad de Recursos, se reduce, la formalización del mejoramiento se ve afectada, junto con el EGE y el ROI de las mejoras
5. Aumento en la Satisfacción del Personal	Mejora en la satisfacción del personal debido a mayores inversiones en formación o condiciones laborales.	Satisfacción del Personal, aumenta, entonces también lo hacen la motivación del personal, los proyectos de mejora y el ROI de las mejoras.
6. Incremento de Ingresos y Gastos	Aumento de ingresos y gastos debido a expansión o nuevas estrategias de inversión.	Si los ingresos, aumentan, también lo hacen los gastos, lo que provocaría también una disminución del EVA, lo que lleva a que la disponibilidad de recursos también lo haga.

Diseño de políticas

Se diseñan políticas para mejorar la asignación de recursos, fomentar la motivación del personal, y reforzar la cultura de innovación. Estas políticas se probarán en el modelo para evaluar su impacto en las variables clave EVA, revisadas en la tabla 5.

Tabla 5

Diseño de políticas
Construcción propia

Política	Objetivo	Intervención	Acciones	Impacto Esperado
Aumento del presupuesto de formación	Mejorar las competencias del personal, indirectamente incrementa los proyectos de mejora y la eficiencia global de la planta.	Aumentar progresivamente el presupuesto de formación cuando la motivación del personal y la satisfacción del cliente están en niveles altos.	Definir un porcentaje de ingresos destinado a formación y asegurar que este presupuesto sea flexible dependiendo de los resultados de los proyectos de mejora y el ROI	Mejora en las competencias del personal, aumento de los proyectos de mejora y el ROI de las mejoras.
Incentivos basada en la motivación de la dirección	Aumentar la motivación de la dirección, lo que lleva a mayores recursos para el mejoramiento continuo.	Crear un sistema de incentivos que vincule los resultados del EVA (Valor Económico Agregado) con la motivación de la dirección.	Establecer metas claras de rendimiento (ROI, EVA) y vincular el aumento de la motivación de la dirección con estos objetivos	Aumento de la motivación de la dirección, mejora de la disponibilidad de recursos para los proyectos de mejora.
Retención de personal	Reducir la rotación de personal, lo que mantiene las competencias del equipo y mejora la continuidad de los proyectos de mejora.	Implementar una estrategia integral de retención que vincule la satisfacción del personal con políticas de desarrollo profesional.	Definir una estrategia de incentivos de largo plazo que esté alineada con los resultados de satisfacción del personal y proyectos de mejora	Reducción de la rotación del personal, aumento de las competencias del personal y mejoras en la satisfacción del personal.
Optimización de ingresos y gastos	Hay que asegurar que los ingresos y gastos estén alineados con los objetivos estratégicos de la empresa para garantizar la sostenibilidad financiera.	Monitorear y controlar los ingresos y gastos, optimizando los recursos disponibles para proyectos de mejora sin comprometer la calidad	Implementar un sistema de monitoreo continuo de los ingresos y gastos, con una revisión mensual de los márgenes y la rentabilidad.	Mejora en el EVA y ROI de las mejoras, optimización de la disponibilidad de recursos y formalización del mejoramiento.
Calidad y Eficiencia Global de la Planta (EGE)	Mejorar la eficiencia global de la planta para asegurar una mayor productividad y calidad.	Implementar un enfoque de mejora continua enfocado en optimizar procesos, aumentar la calidad y reducir los defectos	Realizar análisis periódicos de los procesos productivos y establecer KPIs de calidad y eficiencia.	Aumento de la eficiencia global de la planta y mejora de la calidad de los productos, lo que incrementa la satisfacción del cliente

Control de la rotación del personal	Reducir las salidas del personal para mejorar la estabilidad organizacional y las competencias acumuladas.	Ajustar la política de retención basada en la satisfacción y motivación del personal.	Modificar las condiciones laborales o beneficios según el nivel de satisfacción del personal, con medidas de retenciones activas cuando la rotación sea alta	Disminución de la rotación y mejora en la motivación del personal.
Formalización de mejoramiento continuo	Hay que asegurar que el mejoramiento continuo esté formalmente integrado en la cultura organizacional y financiado adecuadamente.	Establecer un sistema formal de evaluación y ajuste de los proyectos de mejora, vinculando los recursos disponibles con los objetivos de la empresa	Definir claramente el presupuesto disponible para el mejoramiento continuo y su asignación a proyectos específicos.	Aumento de la formalización de proyectos de mejora y mejora en la eficiencia global de los procesos.
ROI de las mejoras	Maximizar el retorno sobre la inversión de los proyectos de mejora mediante la optimización de la asignación de recursos.	Establecer una tasa mínima de ROI para todos los proyectos de mejora y ajustar los presupuestos en función de este retorno esperado	Establecer umbrales de rentabilidad para cada proyecto de mejora y realizar revisiones periódicas para evaluar su eficacia	Aumento del ROI de las mejoras y resultados esperados de la dirección.
Incentivos basada en la motivación de la dirección	Aumentar la motivación de la dirección, lo que lleva a mayores recursos para el mejoramiento continuo.	Crear un sistema de incentivos que vincule los resultados del EVA (Valor Económico Agregado) con la motivación de la dirección.	Establecer metas claras de rendimiento (ROI, EVA) y vincular el aumento de la motivación de la dirección con estos objetivos.	Aumento de la motivación de la dirección, mejora de la disponibilidad de recursos para los proyectos de mejora.
Retención de personal	Reducir la rotación de personal, lo que mantiene las competencias del equipo y mejora la continuidad de los proyectos de mejora.	Implementar una estrategia integral de retención que vincule la satisfacción del personal con políticas de desarrollo profesional.	Definir una estrategia de incentivos de largo plazo que esté alineada con los resultados de satisfacción del personal y proyectos de mejora	Reducción de la rotación del personal, aumento de las competencias del personal y mejoras en la satisfacción del personal.
Optimización de ingresos y gastos	Hay que asegurar que los ingresos y gastos estén alineados con los objetivos estratégicos de la empresa para garantizar la sostenibilidad financiera.	Monitorear y controlar los ingresos y gastos, optimizando los recursos disponibles para proyectos de mejora sin comprometer la calidad	Implementar un sistema de monitoreo continuo de los ingresos y gastos, con una revisión mensual de los márgenes y la rentabilidad.	Mejora en el EVA y ROI de las mejoras, optimización de la disponibilidad de recursos y formalización del mejoramiento.
Calidad y eficiencia global de la planta (EGE)	Mejorar la eficiencia global de la planta para asegurar una mayor productividad y calidad.	Implementar un enfoque de mejora continua enfocado en optimizar procesos, aumentar la calidad y reducir los defectos	Realizar análisis periódicos de los procesos productivos y establecer KPIs de calidad y eficiencia.	Aumento de la eficiencia global de la planta y mejora de la calidad de los productos, lo que incrementa la satisfacción del cliente
Control de la rotación del personal	Reducir las salidas del personal para mejorar la estabilidad organizacional y las competencias acumuladas.	Ajustar la política de retención basada en la satisfacción y motivación del personal.	Modificar las condiciones laborales o beneficios según el nivel de satisfacción del personal, con medidas de retenciones activas cuando la rotación sea alta.	Disminución de la rotación y mejora en la motivación del personal.

Formalización de mejoramiento continuo	Hay que asegurar que el mejoramiento continuo esté formalmente integrado en la cultura organizacional y financiado adecuadamente.	Establecer un sistema formal de evaluación y ajuste de los proyectos de mejora, vinculando los recursos disponibles con los objetivos de la empresa.	Definir claramente el presupuesto disponible para el mejoramiento continuo y su asignación a proyectos específicos.	Aumento de la formalización de proyectos de mejora y mejora en la eficiencia global de los procesos.
ROI de las Mejoras	Maximizar el retorno sobre la inversión de los proyectos de mejora mediante la optimización de la asignación de recursos.	Establecer una tasa mínima de ROI para todos los proyectos de mejora y ajustar los presupuestos en función de este retorno esperado.	Establecer umbrales de rentabilidad para cada proyecto de mejora y realizar revisiones periódicas para evaluar su eficacia.	Aumento del ROI de las mejoras y resultados esperados de la dirección.

Análisis “What if”: Se realizan simulaciones "What if" para prever los efectos de las nuevas políticas, observando cómo cada política individual y en combinación afecta el desempeño organizacional.

Análisis de sensibilidad: Se evalúa la robustez de las políticas bajo diferentes escenarios de incertidumbre para asegurar que las recomendaciones sean sólidas y aplicables en diversas condiciones.

Interacciones de las políticas: Se analizaron interacciones entre políticas para identificar sinergias o respuestas compensatorias, ajustando las estrategias para maximizar los beneficios y minimizar las posibles desventajas.

Tabla 6

Interacción de políticas

Construcción propia

Política	Interacción con Otras Políticas	Efecto Potencial
1. Asignación de recursos	Impacta directamente la disponibilidad de recursos. Aumenta la formalización del mejoramiento.	Mayor asignación de recursos mejora la ejecución de proyectos de mejora y la motivación del personal. Potencia la capacidad de inversión en proyectos estratégicos y tecnológicos.
2. Inversión en formación	Impacta las competencias del personal. Afecta el ROI de las mejoras.	Incremento en la inversión en formación aumenta la eficiencia global de la planta y la motivación del personal. Una mejor formación del personal mejora el rendimiento de la planta y, en consecuencia, el ROI.
3. Retención de personal	Relacionada con la satisfacción del personal. Afecta la rotación del personal y los costos operacionales.	Aumenta la retención cuando la satisfacción es alta, lo que reduce la rotación y mantiene la motivación. Mejor retención reduce costos de reclutamiento y entrenamiento, aumentando la estabilidad organizacional.
4. Motivación de la dirección	Aumenta la disponibilidad de recursos. Influye directamente en la motivación del personal.	La motivación de la dirección permite mayor flexibilidad y recursos para el personal y proyectos de mejora. La motivación de la dirección, al estar alineada con los objetivos de la empresa, impulsa la motivación del personal.

5. Formalización del mejoramiento	Relacionada con la disponibilidad de recursos y el presupuesto de formación. Aumenta el número de proyectos de mejora.	Formalizar el mejoramiento continuo refuerza la cultura organizacional y asegura la alineación con los objetivos estratégicos. Incrementa las oportunidades de mejora continua, impactando en la calidad y en la eficiencia.
6. Establecimiento de objetivos claros	Impacta la motivación de la dirección y del personal. Contribuye a la satisfacción del cliente.	Al tener metas claras, la dirección puede motivar al personal y mejorar la alineación estratégica. Objetivos bien definidos permiten a los equipos entregar resultados que aumentan la satisfacción del cliente.

X RESULTADOS

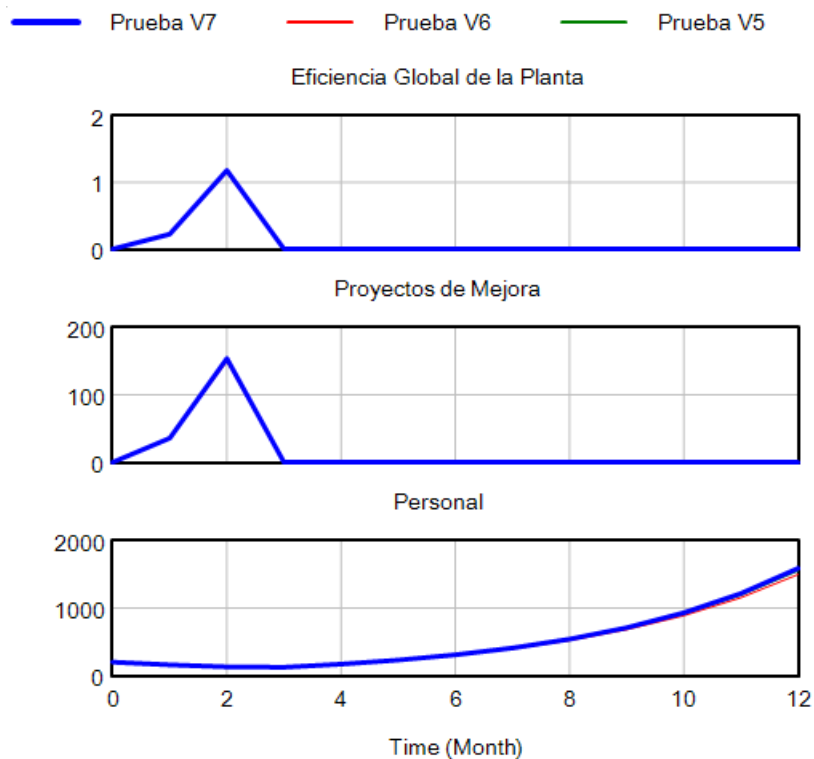
Para presentar los resultados del trabajo de investigación y concluir cada uno desde una perspectiva de dinámica de sistemas, se utiliza un formato estructurado donde se describen los hallazgos principales y se proporciona una conclusión basada en el análisis sistémico

Mejora en la Eficiencia Operativa

La implementación de herramientas de mejoramiento continuo resultó en un aumento significativo de la eficiencia global de la planta, lo que se tradujo en una reducción de costos operativos y tiempos de producción más cortos. Desde la dinámica de sistemas, este resultado indica que la eficiencia operativa es una variable crítica en el ciclo de retroalimentación positivo. La mejora continua en procesos reduce el desperdicio y mejora la calidad, lo que alimenta un círculo virtuoso de incremento de productividad y optimización de recursos.

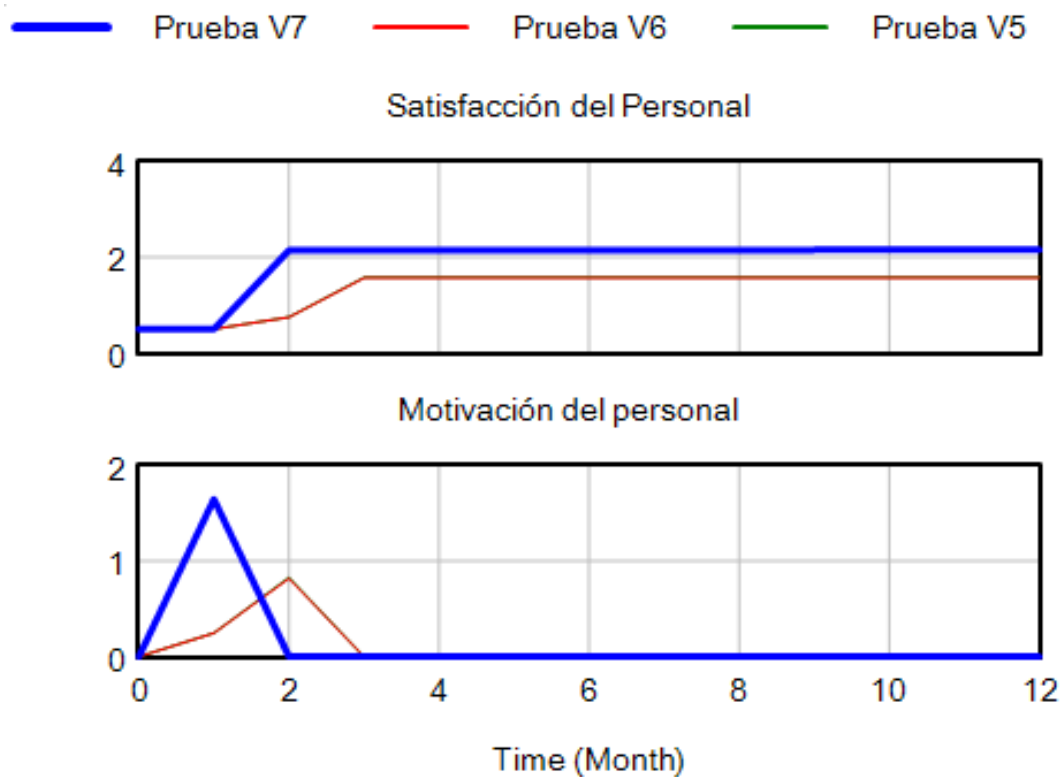
Fig. 7

*Resultados en la eficiencia operativa
Construcción propia*



Incremento en la Motivación del Personal

El estudio encontró que las iniciativas de formación y el compromiso de la dirección aumentaron la motivación del personal, lo que llevó a una mayor participación en proyectos de mejora y una reducción en la rotación del personal. La motivación del personal es un factor impulsor dentro del sistema que amplifica la capacidad de implementar mejoras efectivas. Este resultado resalta la importancia de considerar la motivación como una variable endógena que, cuando es fomentada, mejora la estabilidad y el rendimiento de los procesos organizacionales.

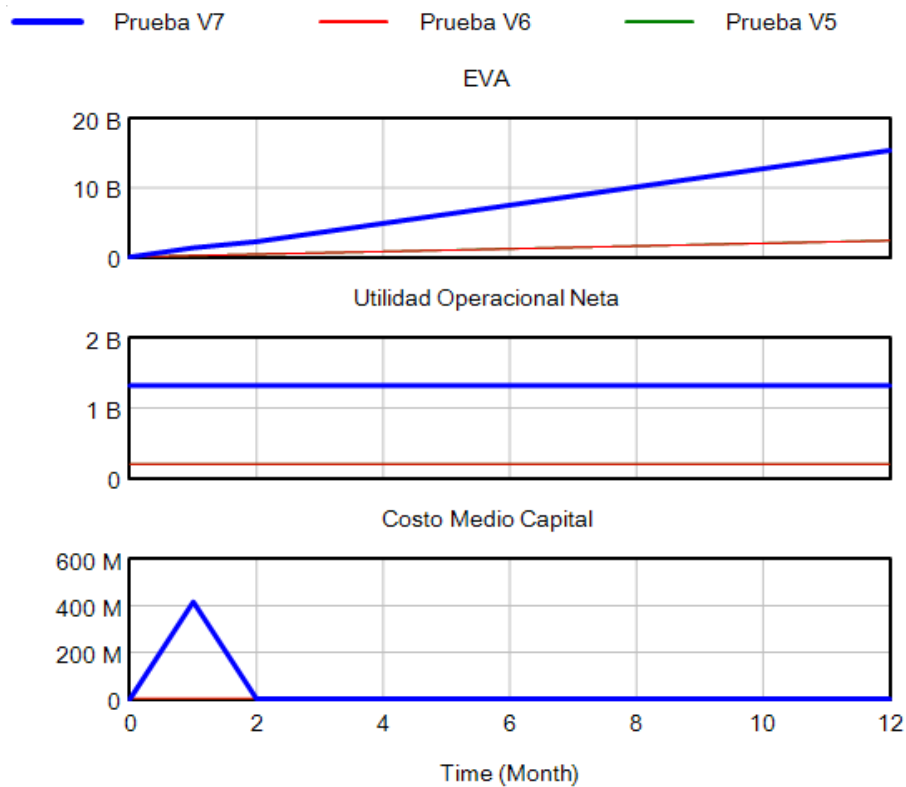
Fig. 8*Resultados en la motivación del personal**Construcción propia*

Aumento del EVA (Valor Económico Agregado)

El EVA mostró un incremento sostenido tras la implementación de MC, indicando una mejora en la rentabilidad y la creación de valor para la empresa. El aumento del EVA sugiere que las inversiones en MC no solo cubren sus costos, sino que también generan retornos significativos. Desde un punto de vista de dinámica de sistemas, esto valida la retroalimentación positiva entre la eficiencia de los procesos, la rentabilidad y la reinversión en mejoras, fortaleciendo la capacidad competitiva de la empresa.

Fig. 9

Resultados en el EVA
Construcción propia

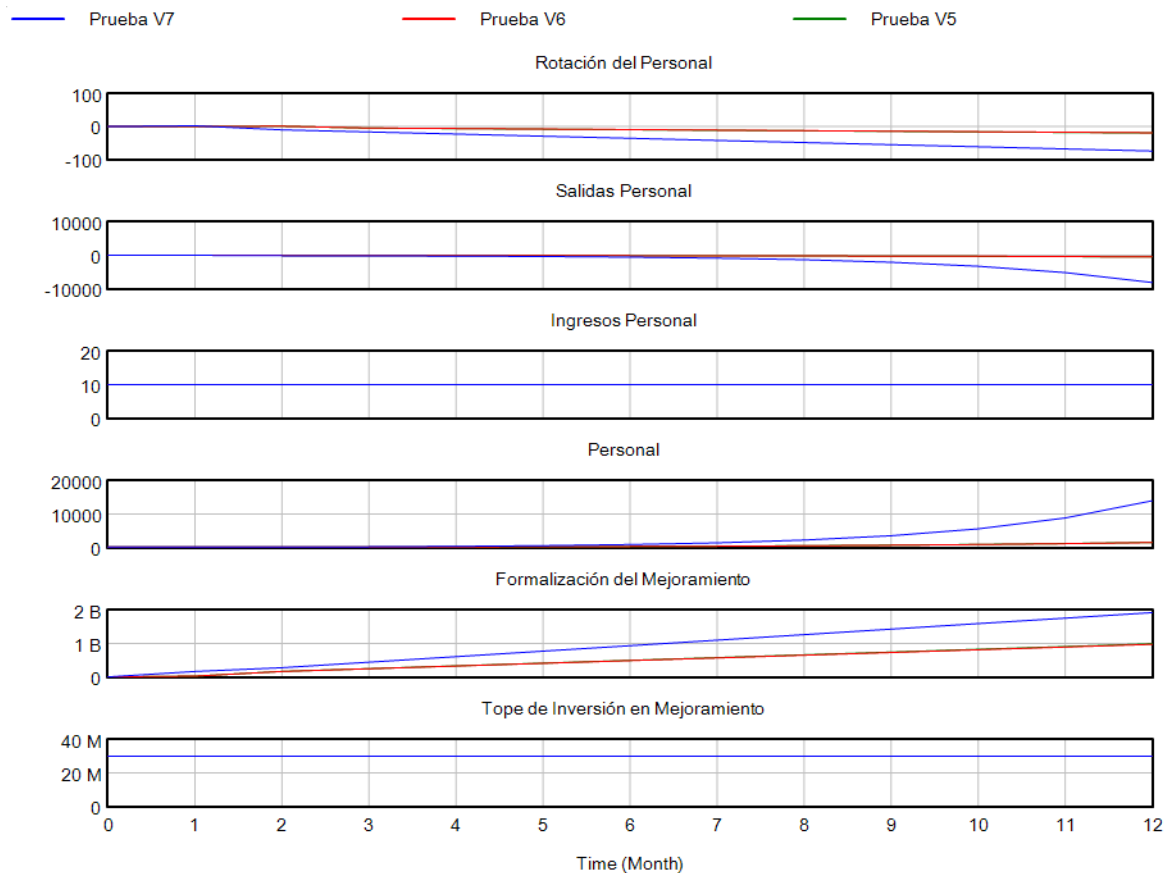


Reducción en la Rotación del Personal

La investigación evidenció una disminución en la rotación del personal, correlacionada con mayores niveles de satisfacción y motivación del personal debido a políticas de formación y retención efectivas. Una menor rotación implica una retención del conocimiento organizacional y una menor necesidad de recursos para entrenamiento de nuevos empleados. En términos de dinámica de sistemas, esto refuerza un bucle de retroalimentación positiva donde la satisfacción del personal mejora la estabilidad organizacional y potencia los esfuerzos de MC.

Fig. 10

*Resultados sobre la rotación del personal
Construcción propia*

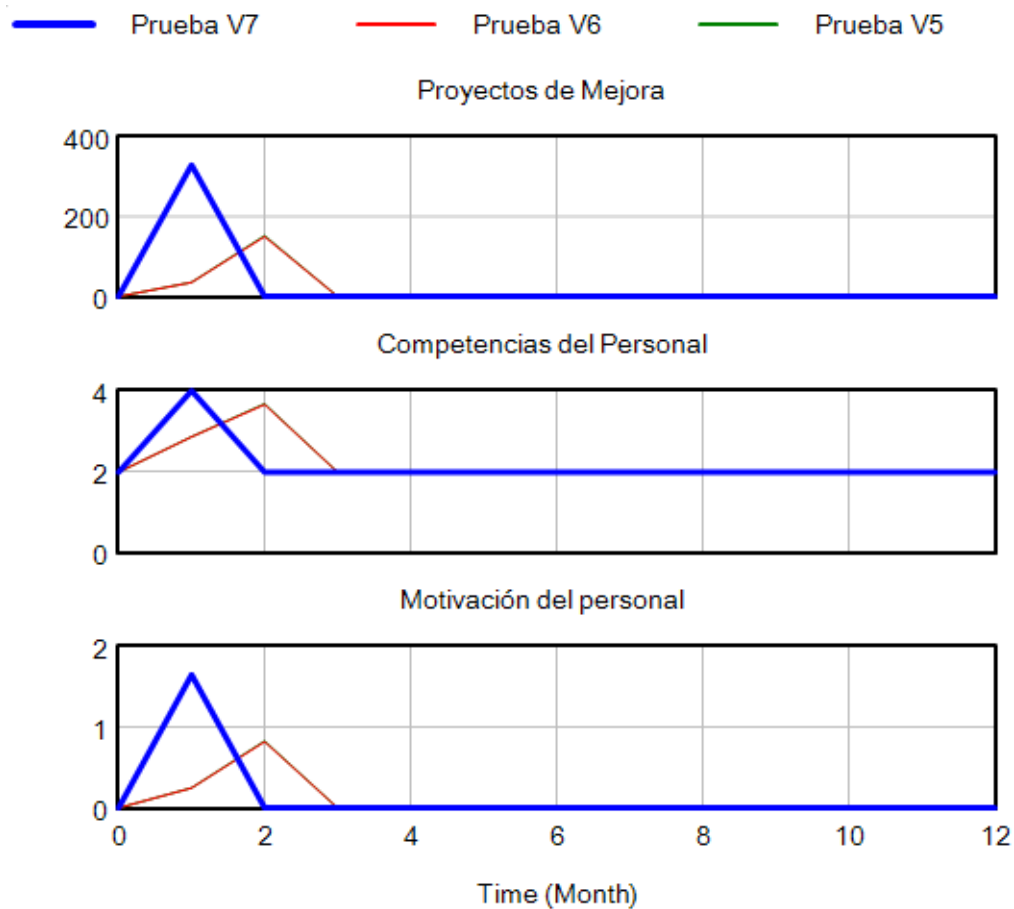


Aumento en la Formalización de Proyectos de Mejora

El número de proyectos de mejora formalizados aumentó, lo que permitió una mayor estructuración y seguimiento de las iniciativas de mejora continua. La formalización de proyectos de mejora es clave para mantener la sostenibilidad de las iniciativas de MC. En términos de dinámica de sistemas, esto facilita la medición y el ajuste de las estrategias de MC, asegurando que los recursos se utilicen eficientemente y que las mejoras sean sostenibles en el tiempo.

Fig. 11

*Resultados sobre los proyectos de mejora
Construcción propia*

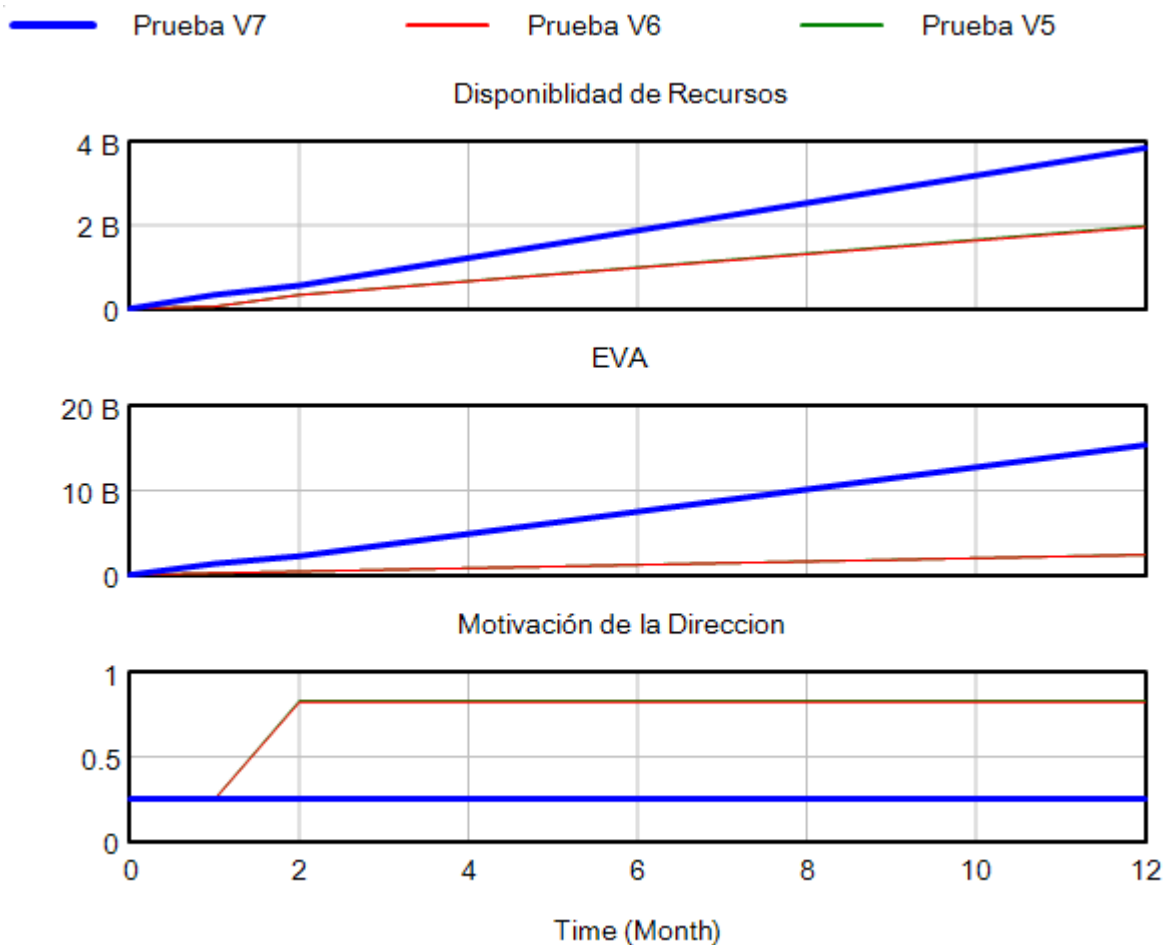


Optimización de los Recursos Disponibles

La investigación demostró una optimización en la asignación de recursos, con una mejora en el uso del capital de trabajo y una reducción en el costo medio de capital. Desde la dinámica de sistemas, la optimización de recursos es un indicador de la eficacia de los bucles de retroalimentación en la gestión de recursos. La mejor gestión del capital de trabajo reduce la carga financiera y permite una mayor flexibilidad para reinvertir en MC, potenciando el rendimiento global de la empresa.

Fig. 11

*Resultados sobre los proyectos de mejora
Construcción propia*

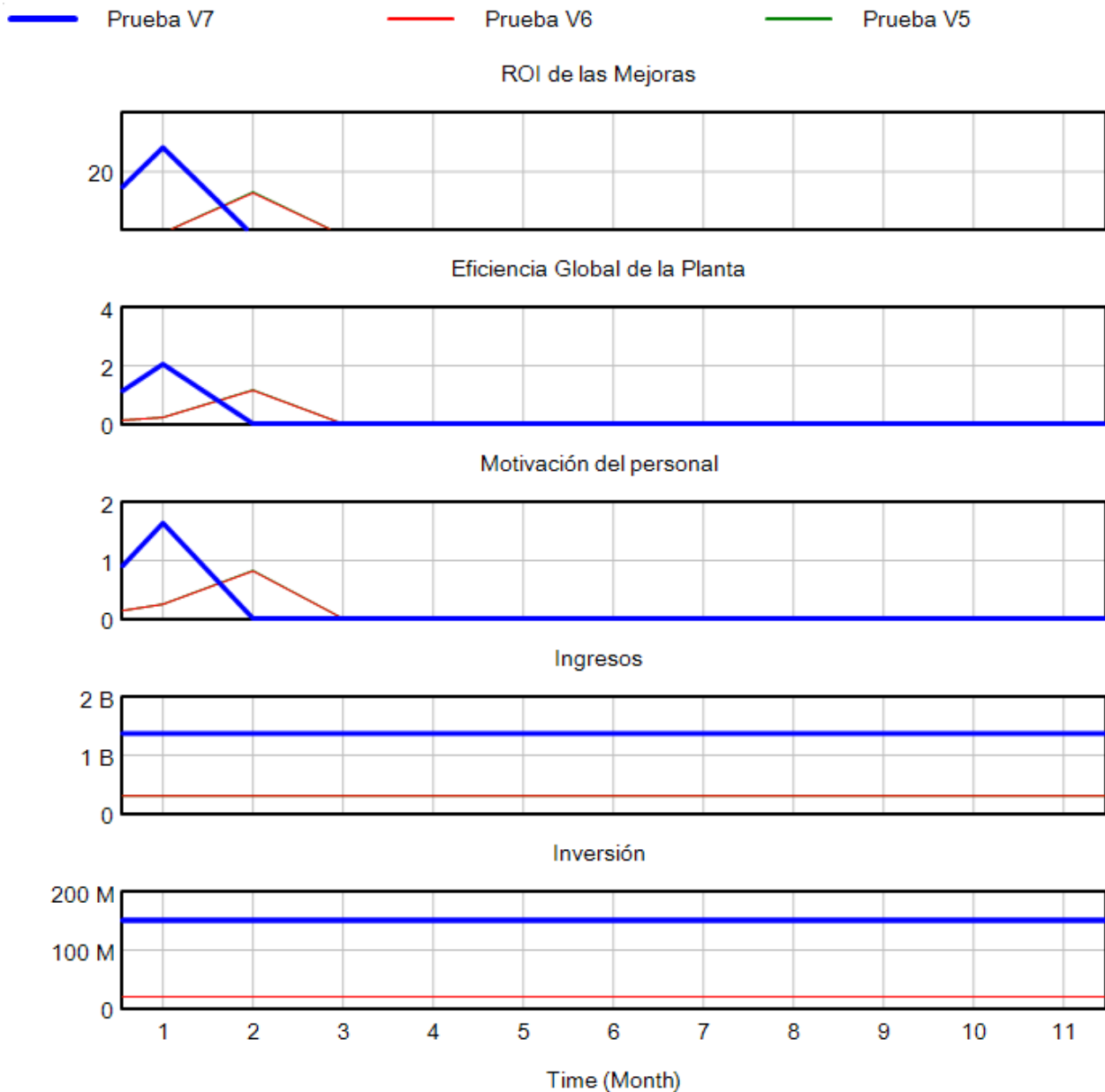


Incremento en el ROI de las Mejoras

El retorno sobre la inversión de las mejoras fue significativamente positivo, indicando que las inversiones en MC resultaron en beneficios financieros claros. Un ROI de las mejoras positivo refuerza la importancia de la MC como una estrategia viable para la creación de valor. En términos de dinámica de sistemas, un alto ROI de las mejoras fomenta la continuidad de las inversiones en mejoras, alimentando un ciclo de retroalimentación donde el éxito pasado financia futuras mejoras.

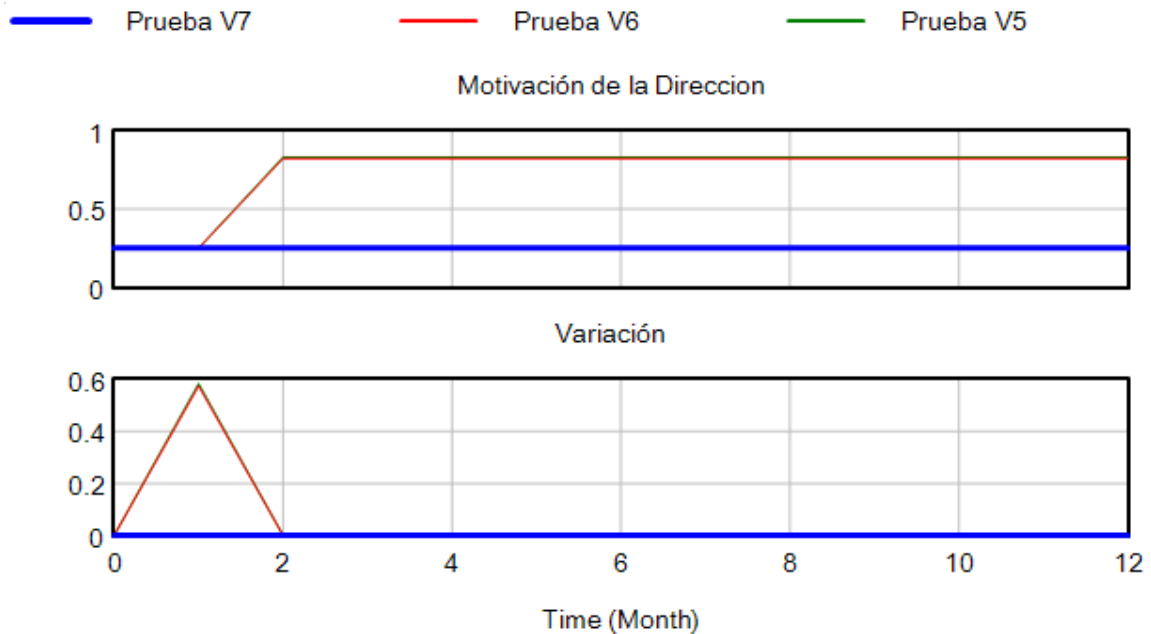
Fig. 12

*Resultados sobre el ROI de las mejoras
Construcción propia*



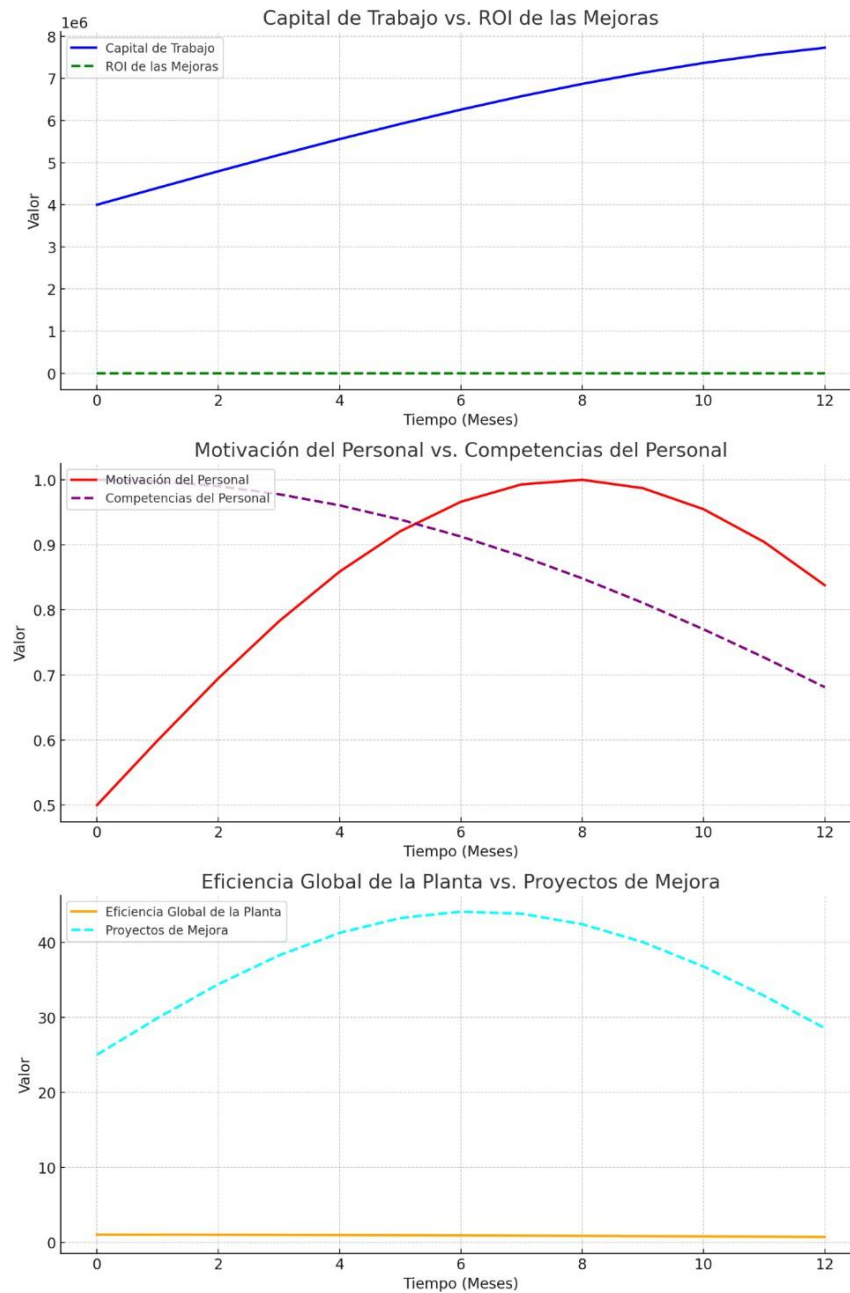
Influencia Positiva de la Dirección

El compromiso y motivación de la dirección tuvieron un impacto directo en la disponibilidad de recursos para proyectos de mejora, acelerando la implementación y éxito de estas iniciativas. La dirección actúa como un catalizador en la dinámica del sistema. Su compromiso no solo asegura la asignación adecuada de recursos, sino que también establece un tono positivo para toda la organización, mejorando la ejecución de las estrategias de MC.

Fig. 13*Resultados sobre la motivacion de la dirección**Construcción propia*

Resultados Generales

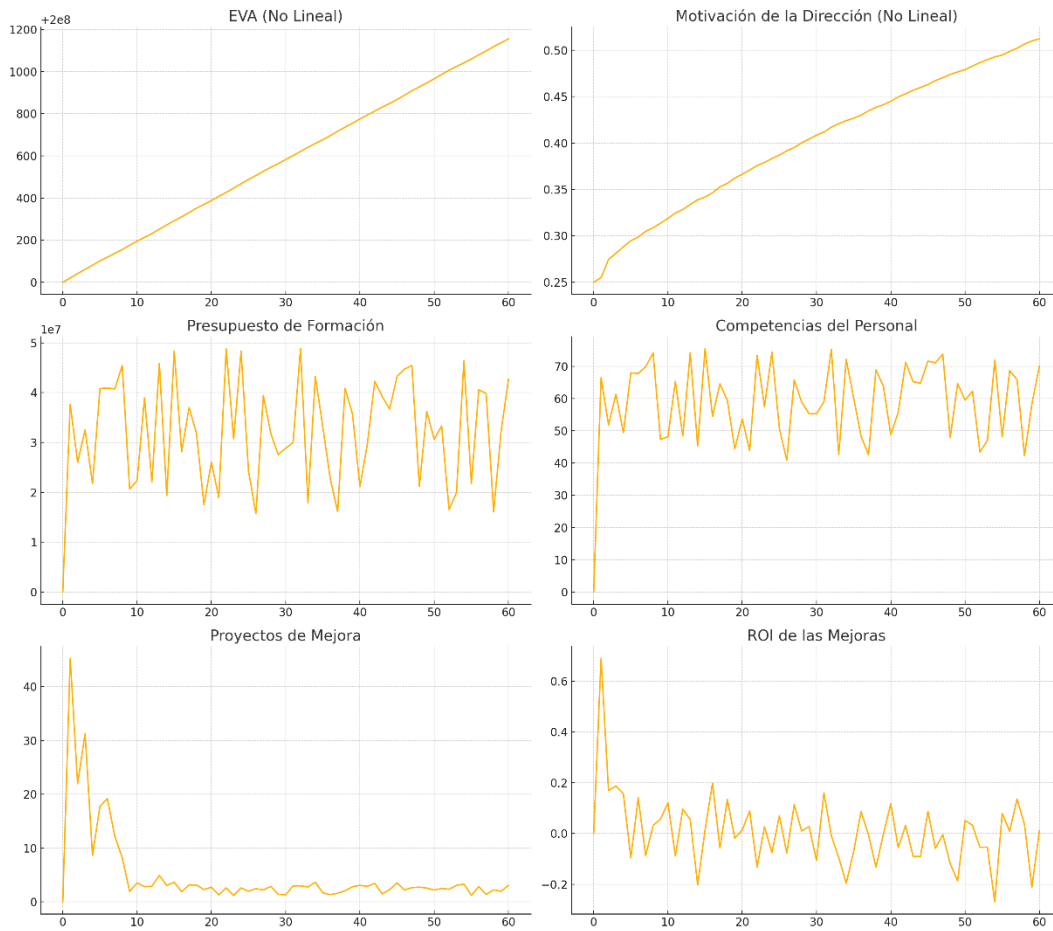
Fig. 13
Resultados Generales
Construcción propia



Este modelo resalta cómo las interacciones sistémicas entre diferentes variables organizacionales influyen en el éxito de la implementación de herramientas de mejoramiento continuo, proporcionando una base sólida para la toma de decisiones estratégicas.

Fig. 14

*Resultados horizonte de 5 años
Construcción propia*



Dinámica de Sistemas (Horizonte: 5 años)

En este modelo de dinámica de sistemas, se simuló durante 60 meses (5 años) las principales variables asociadas a políticas estratégicas organizacionales. Las políticas incluidas contemplan formación del personal, incentivos a la dirección, retención del talento, eficiencia operativa y retorno sobre la inversión (ROI).

1. *EVA (Valor Económico Agregado)*: El EVA presenta un crecimiento sostenido, esto permite comprender de forma realista la generación de valor económico su impacto. Esta dinámica se alinea con políticas de control financiero, como la optimización de ingresos y gastos, y la formalización del mejoramiento continuo.

2. *Motivación de la Dirección*: Sigue una evolución sigmoideal, lo que implica que se requiere superar ciertos umbrales de desempeño antes de observar aumentos significativos en la motivación. Esta respuesta es coherente con esquemas de incentivos estratégicos vinculados al EVA y al ROI, tal como lo proponen las políticas de dirección.

3. *Presupuesto de Formación*: Presenta una evolución con techo presupuestal (50 millones), lo que refleja decisiones dependientes del contexto económico y el rendimiento general. Se cumple el principio de que el presupuesto debe ser flexible y proporcional a los resultados organizacionales, especialmente los obtenidos por los proyectos de mejora.

4. *Competencias del Personal*: Aumentan de forma sigmoideal, afectadas por la inversión en formación y atenuadas por la rotación del personal. Esto ilustra cómo, más allá de aumentar el presupuesto, es fundamental asegurar la estabilidad del equipo humano. La política de retención resulta clave para sostener el avance en las competencias acumuladas.

5. *Proyectos de Mejora*: Crecen a una tasa decreciente, mostrando rendimientos marginales limitados conforme el sistema madura. Esto evita sobreestimaciones en el impacto de las competencias. La formalización del mejoramiento continuo tiene aquí su impacto principal, al permitir una ejecución sistemática y controlada de mejoras operativas.

6. *ROI de las Mejoras*: El retorno sobre la inversión fluctúa moderadamente a lo largo del tiempo, afectado por la eficiencia global de la planta (EGE) y la motivación del personal. El uso de funciones de saturación y ruido permite capturar mejor su variabilidad natural, validando la necesidad de establecer umbrales de rentabilidad y sistemas de evaluación periódica.

La simulación evidencia que las políticas de formación, motivación directiva, control de rotación y formalización de la mejora continua tienen efectos claros pero no instantáneos ni ilimitados.

La no linealidad incorporada permite entender mejor los puntos de saturación, los umbrales de respuesta y los factores estabilizadores como la retención del personal. En conjunto, el modelo resalta el valor de diseñar estrategias sistémicas que armonicen inversión, aprendizaje organizacional y evaluación constante del desempeño.

El análisis del sistema dinámico implementado bajo un enfoque no lineal y un horizonte de 5 años revela una estructura compleja pero coherente de retroalimentaciones que reflejan de manera realista el comportamiento organizacional ante políticas estratégicas. El Valor Económico Agregado (EVA) evoluciona positivamente, y su crecimiento estimula la motivación de la dirección, pero lo hace bajo una dinámica sigmoideal. Esto implica que los incrementos iniciales en los resultados financieros tienen un mayor impacto en la motivación, mientras que posteriormente el sistema tiende a estabilizarse, lo que es consistente con modelos de gestión donde el compromiso se consolida al alcanzar ciertos umbrales de desempeño.

El presupuesto de formación presenta una evolución acotada por topes realistas y su impacto en las competencias del personal muestra una relación logística: las mejoras son significativas al inicio pero decrecen a medida que la inversión se incrementa, lo que refleja rendimientos decrecientes en el aprendizaje organizacional. A su vez, estas competencias, combinadas con la motivación del personal, generan un aumento en los proyectos de mejora, aunque también se observa una saturación progresiva que limita el crecimiento exponencial de estas iniciativas.

La motivación del personal responde principalmente al presupuesto de formación y al nivel de satisfacción, y esta, a su vez, depende del reconocimiento y estabilidad interna. A medida que la motivación crece, impulsa los proyectos de mejora, pero la relación no es lineal, ya que se manifiestan factores de capacidad operativa que moderan la efectividad de la motivación adicional. El ROI de las mejoras, por otro lado, muestra una relación positiva con la eficiencia global del sistema (EGE) y la motivación del personal, pero su evolución está sujeta a variaciones aleatorias y puntos de saturación. Esto evidencia que no toda mejora genera retornos equivalentes, subrayando la importancia de gestionar recursos con criterios de rentabilidad estratégica.

Finalmente, el modelo evidencia interacciones cruzadas entre las variables que forman bucles de retroalimentación positiva (como EVA $\rightarrow$ motivación de la dirección $\rightarrow$ presupuesto $\rightarrow$ competencias $\rightarrow$ mejora $\rightarrow$ ROI $\rightarrow$ EVA), pero también muestra mecanismos estabilizadores como la rotación del personal y las restricciones presupuestarias. En conclusión, la interacción entre variables financieras, humanas y operativas demuestra que el desempeño organizacional no depende de acciones aisladas, sino de un equilibrio dinámico entre políticas de inversión, desarrollo del talento y capacidad de ejecución eficiente.

Análisis What-If: Reducción del Presupuesto de Formación

Se simuló una reducción del 50% en el presupuesto de formación a partir del mes 12 para evaluar la sensibilidad del sistema. El comportamiento fue analizado a través de tres ciclos de retroalimentación que conectan elementos clave del modelo.

Fig. 15

*Analisis what-If horizonte de 5 años
Construcción propia*

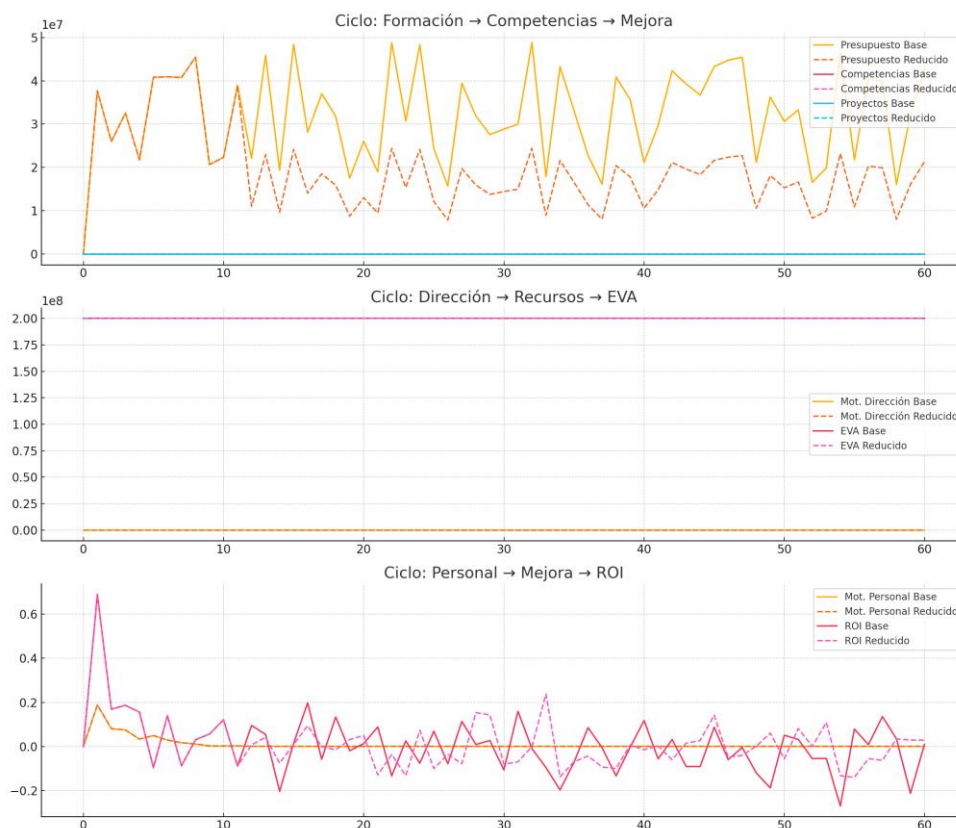


Fig. 15. Comparación de los ciclos de retroalimentación bajo condiciones normales y con presupuesto de formación reducido. El análisis demuestra que el sistema es altamente sensible al presupuesto de formación. Esta variable actúa como punto de apalancamiento en múltiples ciclos de retroalimentación. La reducción rompe la cadena que une el crecimiento humano, los procesos de mejora y el retorno económico. Además, al afectar tanto la motivación del personal como la de la dirección, se debilita el motor de recursos del sistema y se compromete su capacidad de automejorarse. Esto subraya la importancia de mantener la inversión en formación como una prioridad estratégica incluso bajo restricciones presupuestales.

XI DISCUSIÓN

Para evaluar el cumplimiento de los objetivos planteados en el trabajo de investigación sobre la implementación de herramientas de mejoramiento continuo en empresas de servicios en Antioquia, es importante revisar cómo los hallazgos del estudio abordan cada uno de los objetivos específicos y el objetivo general.

Objetivo General:

Analizar las relaciones de causa y efecto entre indicadores de gestión organizacional, que permitan determinar las variables críticas en la efectividad de la implementación de MC en empresas de servicios en Antioquia.

El estudio ha logrado identificar las relaciones de causa y efecto entre variables como la motivación del personal, la disponibilidad de recursos, y el EVA, demostrando cómo estas interacciones influyen en la efectividad del mejoramiento continuo. El modelo de simulación ha proporcionado una representación clara de cómo las estrategias de MC afectan los indicadores clave de desempeño, cumpliendo con el objetivo general de analizar estas relaciones para mejorar la toma de decisiones estratégicas.

Objetivos Específicos:

Identificar variables e indicadores clave que permitan desarrollar una hipótesis dinámica asociada a la implementación de herramientas de mejoramiento continuo en empresas de servicios.

El trabajo ha identificado variables clave como el capital de trabajo, la motivación de la dirección, la rotación del personal, y la eficiencia global de la planta, desarrollando una hipótesis dinámica que vincula estas variables con los resultados de MC. Esto indica un cumplimiento satisfactorio de este objetivo.

Diseñar un modelo causal que integre las variables y los indicadores de gestión, que represente diferentes comportamientos de implementación y sus implicaciones por medio de simulación.

Se ha diseñado un modelo causal que integra de manera efectiva las variables identificadas, mostrando diferentes escenarios de implementación de MC. Este modelo permite simular comportamientos organizacionales bajo distintas condiciones, lo que demuestra un cumplimiento pleno de este objetivo. Evaluar diferentes estrategias mediante la construcción de escenarios que mitiguen los impactos negativos existentes en la implementación de herramientas de mejoramiento continuo. El estudio ha evaluado distintas estrategias a través de simulaciones de escenarios, destacando cómo ajustes en la inversión en formación y cambios en la política de retención del personal pueden mitigar impactos negativos. Esto refleja un cumplimiento adecuado de este objetivo, proporcionando recomendaciones prácticas para la mejora continua.

El trabajo de investigación ha cumplido con éxito los objetivos planteados, proporcionando un análisis detallado de las variables críticas y sus interacciones dentro del contexto del mejoramiento continuo en empresas de servicios. La construcción de un modelo dinámico y la evaluación de estrategias mediante simulaciones ofrecen un enfoque integral y útil para la gestión de la mejora continua, cumpliendo así tanto los objetivos específicos como el general del estudio.

XII CONCLUSIONES

La simulación llevada a cabo mediante un modelo de dinámica de sistemas permitió evaluar el impacto de diversas políticas organizacionales, tales como la inversión en mejoras, la formación continua, la motivación y la gestión de personal, sobre indicadores clave de desempeño empresarial. Los resultados obtenidos evidenciaron que la capacidad de ajustar estratégicamente la asignación de recursos en el modelo brinda información valiosa para la toma de decisiones de la alta dirección. En particular, se encontró que las iniciativas de mejoramiento continuo (MC) tienen un impacto positivo significativo en las métricas financieras y operativas; este efecto se reflejó en un aumento del Valor Económico Agregado (EVA) y en mejoras en la eficiencia global de las operaciones.

La adopción de un enfoque de pensamiento sistémico resultó crucial para comprender y gestionar las interacciones complejas entre las variables interdependientes del modelo. Por ejemplo, se observó que el refuerzo de la motivación del personal, combinado con mejoras en la calidad de los procesos y una adecuada disponibilidad de recursos, condujo a un incremento en la satisfacción del cliente y, consecuentemente, a un fortalecimiento de la lealtad de la clientela. Además, los experimentos de simulación mostraron que los proyectos de mejora continua aumentan la eficiencia y reducen los costos operativos, siempre que dichas iniciativas estén alineadas con los objetivos estratégicos de la organización.

Asimismo, el liderazgo directivo emergió como un factor crítico en el desempeño del sistema: una gestión eficaz por parte de la dirección, reflejada en una asignación óptima de recursos y en la capacidad de motivar al personal, resultó esencial para materializar las mejoras previstas. La inversión sostenida en formación continua del personal impulsó la innovación y la optimización de procesos internos, contribuyendo a incrementos adicionales de productividad y calidad. De igual manera, mantener elevados niveles de motivación y satisfacción laboral redujo la rotación del personal, proporcionando estabilidad a la organización y conservando su capital humano y conocimiento institucional.

En el ámbito financiero, los cálculos de Retorno sobre la Inversión (ROI) asociados a las iniciativas de mejora arrojaron valores positivos, lo que indica un uso eficiente de los recursos y justifica las inversiones realizadas en dichas iniciativas. Cabe destacar que el modelo de simulación desarrollado mostró sensibilidad a las condiciones de mercado imperantes; variaciones en el entorno externo modificaron los resultados, subrayando la importancia de considerar escenarios

macroeconómicos y de mercado en la planificación estratégica. Finalmente, el uso de simulaciones dinámicas permitió explorar diferentes escenarios y proponer políticas estratégicas integrales y sostenibles alineadas con los objetivos a largo plazo de la organización. En conjunto, la herramienta de simulación proporcionó un marco cuantitativo robusto para la toma de decisiones estratégicas informadas y para la mejora continua del desempeño organizacional.

XIII RECOMENDACIONES

A partir de este trabajo de investigación, se pueden derivar varias líneas de investigación futuras. Estas líneas pueden profundizar en aspectos específicos del modelo de dinámica de sistemas o explorar áreas complementarias que amplíen el entendimiento y aplicación del mejoramiento continuo. A continuación, se presentan posibles líneas de investigación:

Efecto de la Cultura Organizacional en la Implementación de MC

Explorar cómo la cultura organizacional influye en la adopción y efectividad de las herramientas de mejoramiento continuo. Esto incluye el estudio de valores, comportamientos y liderazgo que facilitan o dificultan la implementación de MC, identificando factores culturales que afectan la sostenibilidad de MC en empresas de servicios y proponer estrategias para alinear la cultura organizacional con los objetivos de mejora continua.

Impacto de la Digitalización y la Industria 4.0 en MC

Investigar cómo la digitalización y las tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el Internet de las cosas (IoT), influyen en la eficacia de las estrategias de MC, evaluando cómo las tecnologías digitales pueden integrarse en los procesos de MC para mejorar la eficiencia, reducir costos y aumentar la capacidad de respuesta a cambios en el mercado.

Análisis Comparativo de MC entre Sectores de Servicios y Manufactura

Realizar un estudio comparativo entre las prácticas de MC en el sector de servicios y el sector manufacturero, identificando diferencias clave en la implementación y resultados, entendiendo cuales deben ser las adaptaciones necesarias para aplicar MC en diferentes contextos industriales y generar recomendaciones específicas para cada sector.

Desarrollo de Indicadores de Desempeño Específicos para MC en Servicios

Crear y validar un conjunto de indicadores de desempeño específicos para medir el impacto del MC en empresas de servicios, proporcionando herramientas de medición más precisas que permitan a las empresas evaluar el progreso y efectividad de sus iniciativas de MC.

Estas líneas de investigación pueden contribuir a un entendimiento más profundo y una aplicación más efectiva del mejoramiento continuo en diferentes contextos y sectores, fomentando la innovación y la competitividad a nivel organizacional y regional.

XIV IMPACTO Y PRODUCTOS

Artículo publicado en la revista Scientia Et Technica: Marin, J., Mosquera, C., & Ceballos, Y. (2021). Proposal of Improvement for a Textile Finishing Company in Medellin city Through Discrete Simulation. Scientia Et Technica, 26(1), 21-27. <https://doi.org/10.22517/23447214.24540>

Del 13 al 17 June 2022 se participó como ponente en la ELAVIO (Escuela Latinoamericana de Verano en Investigación Operativa) en el Tecnológico de Monterrey México.

Del 27 al 29 de septiembre de 2023 se participó como ponentes: Karol Erazo, Fernando Ceballos y Alexander Marin, en el XXI Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas en Madrid, España.

Del 6 al 8 de noviembre de 2024 se participó como ponentes: Fernando Ceballos y Alexander Marin, en el WorkShop and International Seminar on Complexity Science WISCS en Cali, Colombia.

XV REFERENCIAS

- [1] M. W. Alkababji, “The impact of applying the target cost and continuous improvement (Kaizen) on achieving the sustainable competitive advantage of Palestinian industrial companies,” *J. Bus. Socio-economic Dev.*, vol. 3, no. 4, pp. 372–387, 2023, doi: 10.1108/jbsed-11-2022-0121.
- [2] S. Al Tamimi, F. A. Mahmood, and M. A. Al Anssari, “the Possibility of Using Kaizen Method (Continuous Improvement) To Improve Quality and Reduce Costs: an Application Research on Kufa Cement Factory,” *J. Mod. Proj. Manag.*, vol. 11, no. 1, pp. 24–41, 2023, doi: 10.19255/JMPM03103.
- [3] M. D. Akanmu, M. G. Hassan, B. Mohamad, and N. Nordin, “Sustainability through TQM practices in the food and beverages industry,” *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, vol. 40, no. 2, pp. 335–364, 2023, doi: 10.1108/IJQRM-05-2021-0143.
- [4] M. Barraza, “La Sostenibilidad de la Mejora Continua de Procesos en la Administración Pública: Un estudio en los Ayuntamientos de España,” Universidad Ramon Llul, 2008.
- [5] F. L. Lizarelli, J. C. de Toledo, L. D. N. Gambi, and C. L. Gonçalves, “Continuous improvement behaviors and impacts on innovation,” *TQM J.*, vol. 35, no. 2, pp. 366–388, 2023, doi: 10.1108/TQM-07-2021-0205.
- [6] A. L. Teixeira, D. H. Alliprandini, and C. A. D. Mattos, “Continuous improvement practice and the stages of service operations competitiveness: a hospital case study,” *Int. J. Product. Qual. Manag.*, vol. 37, no. 1, pp. 20–20, 2022, doi: <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2022.126006>.
- [7] G. E. León, N. Marulanda, and H. H. González, “Factores claves de éxito en la implementación de Lean Manufacturing en algunas empresas con sede en Colombia,” *Tendencias*, vol. 18, no. 1, p. 85, 2017, doi: 10.22267/rtend.171801.66.
- [8] U. K. Enyinna, “Aligning Total Quality Management, Continuous Improvement for Process Performance: An Empirical Review,” *J. Res. Soc. Sci. Econ. Manag.*, vol. 03, no. 02, pp. 352–369, 2023, doi: 10.59141/jrssem.v3i2.532.
- [9] R. Elhawi, “Total Quality Management in Achieving Competitive Advantage,” *J. Posit. Sch. Psychol.*, vol. 6, no. 3, pp. 3959–3965, 2022.
- [10] S. de la Ossa, W. Niebles, H. Hernández, A. Santamaria, and L. Niebles, “Competitiveness of SMEs from the Insertion of Strategic Planning and Human Resource Management as a Tool

- for Continuous Improvement,” *Mod. Appl. Sci.*, vol. 13, no. 1, p. 129, 2018, doi: 10.5539/mas.v13n1p129.
- [11] C. J. García, R. M. Dueñas, R. M. Tanco, E. V. Diez, and J. S. García, “Sostenibilidad de los sistemas de mejora continua en la industria: Encuesta en la Comunidad Autónoma Vasca y Navarra,” *Intang. Cap.*, vol. 6, no. 1, pp. 51–77, 2010, doi: 10.3926/ic.2010.v6n1.p51-77.
- [12] E. A. Ferreira, “A RELAÇÃO ENTRE OS ESTILOS DE LIDERANÇA E A CULTURA DA MELHORIA CONTÍNUA: O CASO DE UMA INDÚSTRIA DE GRANDE PORTE,” Universidade Federal Fluminense, 2018.
- [13] S. A. Khan, M. A. Kaviani, B. J. Galli, and P. Ishtiaq, “Application of continuous improvement techniques to improve organization performance: A case study,” *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 10, no. 2, pp. 542–565, 2019, doi: 10.1108/IJLSS-05-2017-0048.
- [14] A. S. S. Lim, S. Sabil, and A. E. B. A. Othman, “The Mediating Role of Continuous Improvement on the Relationship Between Workplace Learning Dimensions and Sustainable Lean Manufacturing,” *Int. J. Bus. Soc.*, vol. 23, no. 1, pp. 260–278, 2022, doi: 10.33736/ijbs.4612.2022.
- [15] J. S. Rentería, “GESTIÓN DE LA MEJORA CONTINUA EN LOS PROCESOS Y SUS RESULTADOS EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA COLUMBINA DE LA CIUDAD DE BABAHOYO,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO FACULTAD, 2023.
- [16] V. Thakur, O. A. Akerele, and E. Randell, “Lean and Six Sigma as continuous quality improvement frameworks in the clinical diagnostic laboratory,” *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.*, vol. 60, no. 1, pp. 63–81, 2023, doi: 10.1080/10408363.2022.2106544.
- [17] A. D. Makwana and G. S. Patange, “Strategic implementation of 5S and its effect on productivity of plastic machinery manufacturing company,” *Aust. J. Mech. Eng.*, vol. 20, no. 1, pp. 111–120, 2022, doi: 10.1080/14484846.2019.1676112.
- [18] S. Matope, G. P. Chirinda, and B. Sarema, “Continuous Improvement for Cost Savings in the Automotive Industry,” *Sustain.*, vol. 14, no. 22, 2022, doi: 10.3390/su142215319.
- [19] A. Zamalloa, R. Manani, A. Flores, and M. Collao, “Proposal of production model based on Lean and Continuous Improvement to improve the productivity in SMEs of baking: an empirical investigation in Peru,” in *the 3rd International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management*, 2022, pp. 66–71, doi:

<https://doi.org/10.1145/3524338.3524349>.

- [20] K. Prashanth and M. Veena, “Kaizen (Continuous Improvement) for Employee Productivity,” *Int. J. Multidiscip. Res. Growth Eval.*, vol. 03, no. 04, pp. 78–81, 2022.
- [21] O. McDermott, J. Antony, M. Sony, and E. Looby, “A critical evaluation and measurement of organisational readiness and adoption for continuous improvement within a medical device manufacturer,” *Int. J. Manag. Sci. Eng. Manag.*, vol. 18, no. 2, pp. 145–155, 2023, doi: 10.1080/17509653.2022.2073917.
- [22] P. Jiménez Terrazas, G. Argueta López, and B. Espinoza Granados, “Revisión de literatura sobre mejora continua en MiPymes iberoamericanas,” *Nóesis. Rev. Ciencias Soc. y Humanidades*, vol. 23, no. 46, pp. 140–163, 2014, doi: 10.20983/noesis.2014.2.5.
- [23] F. Cunha, J. Dinis-Carvalho, and R. M. Sousa, “Performance Measurement Systems in Continuous Improvement Environments: Obstacles to Their Effectiveness,” *Sustain.*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.3390/su15010867.
- [24] S. Vinodh and S. A. Shimray, “Analysis of barriers for implementation of integrated Lean Six Sigma and Industry 4.0 using interpretive ranking process,” *TQM J.*, vol. 35, no. 7, pp. 1761–1776, 2023, doi: 10.1108/TQM-04-2022-0121.
- [25] N. Bateman, “Sustainability: The elusive element of process improvement,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 25, no. 3, pp. 261–276, 2005, doi: 10.1108/01443570510581862.
- [26] Y. P. Bonilla García and Y. Paola, “Revisión de la literatura sobre factores clave en la implementación de gestión de la calidad en Pymes,” *Fund. Univ. América*, pp. 1–16, 2021.
- [27] C. Jaca, M. F. Suárez-Barraza, E. Viles-Díez, R. Mateo-Dueñas, and J. Santos-García, “Encuesta de sostenibilidad de sistemas de mejora continua: Comparativa de dos comunidades industriales de España y México,” *Intang. Cap.*, vol. 7, no. 1, pp. 143–169, 2011, doi: 10.3926/ic.2011.v7n1.p143-169.
- [28] L. F. Rojas-Ríos, J. M. López-Lezama, and N. Muñoz-Galeano, “Asignación Óptima de Presupuesto para Mejoramiento de la Calidad del Servicio en Sistemas de Distribución usando Algoritmo Genético No-Dominado II (NSGA-II) y un Algoritmo Memético,” *Inf. Tecnol.*, vol. 27, no. 1, pp. 115–126, 2016, doi: 10.4067/S0718-07642016000100013.
- [29] H. Balouei Jamkhaneh and A. H. Safaei Ghadikolaei, “Measuring the maturity of service supply chain process: a new framework,” *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 71, no. 1, pp. 245–288, 2022, doi: 10.1108/IJPPM-08-2019-0395.

-
- [30] D. Carnerud, C. Jaca, and I. Bäckström, “Kaizen and continuous improvement – trends and patterns over 30 years,” *TQM J.*, vol. 30, no. 4, pp. 371–390, Jun. 2018, doi: 10.1108/TQM-03-2018-0037.
- [31] C. Jaca, M. Ormazabal, J. A. Eguren, and L. Pozueta, “Modelización de Sistemas Dinámicos en Equipos de Mejora,” *Av. Pso. Julio Beobide Zumaia*, vol. 23, no. 1, pp. 999–1008, 2010.
- [32] S. Prakash, S. Kumar, G. Soni, R. V. Mahto, and N. Pandey, “A decade of the international journal of lean six sigma: bibliometric overview,” *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 13, no. 2, pp. 295–341, 2022, doi: 10.1108/IJLSS-12-2020-0219.
- [33] L. Gaikwad and V. Sunnapwar, “An integrated Lean, Green and Six Sigma strategies: A systematic literature review and directions for future research,” *TQM J.*, vol. 32, no. 2, pp. 201–225, 2020, doi: 10.1108/TQM-08-2018-0114.
- [34] O. Koval, S. Nabareseh, F. Chromjakova, and R. Marciniak, “Can continuous improvement lead to satisfied customers? Evidence from the services industry,” *TQM J.*, vol. 30, no. 6, pp. 679–700, 2018, doi: 10.1108/TQM-02-2018-0021.
- [35] T. Y. Abu-Salim, P. Agarwal, E. Abu Elrub, L. Haoum, and M. H. Almarshgari, “Investigation and modelling lean six sigma barriers in service industries: a hybrid ISM-Fuzzy MICMAC approach,” *Meas. Bus. Excell.*, vol. 27, no. 3, pp. 379–402, 2023, doi: 10.1108/MBE-09-2022-0099.
- [36] M. H. Tavares, “Towards Lean Service sustainability: an action research approach,” Universidade Nova de Lisboa, 2021.
- [37] K. F. Madrigal, E. Martinez, S. A. Noriega, V. Torres-Arguelles, and R. Romero, “Determination of the Critical Success Factors of Philosophies, Techniques, and Tools for Continuous Improvement Applied in the Service Sector,” in *Evaluating Mental Workload for Improved Workplace Performance*, IGI Global, 2020, pp. 237–260.
- [38] J. Antony, F. L. Lizarelli, and M. MacHado Fernandes, “A Global Study Into the Reasons for Lean Six Sigma Project Failures: Key Findings and Directions for Further Research,” *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 69, no. 5, pp. 2399–2414, 2022, doi: 10.1109/TEM.2020.3009935.
- [39] B. E. Guzmán Díaz, E. Tarapuez, and R. Parra Hernández, “Estrategia y calidad en empresas colombianas de servicios,” *Rev. Venez. Gerenc.*, vol. 22, no. 80, p. 593, 2018, doi: 10.31876/revista.v22i80.23179.
- [40] P. Amaro, A. C. Alves, and R. M. Sousa, “Lean Thinking: From the Shop Floor to an

- Organizational Culture,” in *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 2020, vol. 592, pp. 406–414, doi: 10.1007/978-3-030-57997-5_47.
- [41] S. Bhasin, “An appropriate change strategy for lean success,” *Manag. Decis.*, vol. 50, no. 3, pp. 439–458, 2012, doi: 10.1108/00251741211216223.
- [42] V. Blijleven and A. Mehra, “Decoding Relationships of Success Factors for Lean Information Technology Outsourcing,” in *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 2015, vol. 460, pp. 332–339, doi: 10.1007/978-3-319-22759-7_39.
- [43] D. E. Castellanos, “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO SISTÉMICO DE MEJORA CONTINUA EN UNA EMPRESA DEL SECTOR FINANCIERO,” Universidad Panamericana, 2020.
- [44] L. Paipa, C. A. Bernal-Torres, L. M. Agudelo-Otalora, Y. Jarrah-Nezhad, and H. A. González-Blanco, “Key lessons to sustain continuous improvement: A case study of four companies,” *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 13, no. 1, pp. 195–211, 2020, doi: 10.3926/jiem.2973.
- [45] J. Bessant, S. Caffyn, and M. Gallagher, “Evolutionary model of continuous improvement behaviour,” *Technovation*, vol. 21, no. 2, pp. 67–77, Feb. 2001, doi: 10.1016/S0166-4972(00)00023-7.
- [46] M. Hernández, “Propuesta de mejoramiento para la disminución de desperdicios mediante Lean Manufacturing en una PYME del sector alimenticio,” Universidad de San Buenaventura, 2021.
- [47] M. A. Duque, “ENFOQUE METODOLÓGICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LEAN SIX SIGMA EN LAS PYMES COLOMBIANAS, A PARTIR DE UN ESTUDIO DE CASOS: PANADERÍA BUENAVISTA,” UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA, 2016.
- [48] D. R. Rodríguez, Y. P. Roza, C. J. Castellanos, and K. A. Carreño, “Estrategias de mejora en el proceso de devolución de matrículas de la Universidad de Cundinamarca mediante el uso de la metodología Lean Six Sigma para optimar tiempos de respuesta,” Bogotá, 2021.
- [49] A. Salahnejhad Ghalehjooghi and P. Lyu, “Socio-economic differentiation in experienced mortality modelling and its pricing implications,” *Eur. Actuar. J.*, 2021, doi: 10.1007/s13385-021-00282-1.
- [50] J. Yu and D. A. Sumner, “Effects of subsidized crop insurance on crop choices,” *Agric. Econ. (United Kingdom)*, vol. 49, no. 4, pp. 533–545, 2018, doi: 10.1111/agec.12434.
- [51] M. Porter, “Las cinco fuerzas competitivas que le dan forma a la estrategia,” *Harv. Bus. Rev.*,

- vol. 86, no. 1, pp. 58–77, 2008.
- [52] E. Muñoz Moreta, L. Rodríguez Mañay, and M. Saltos Chacán, “Metodología para Mejoramiento de Procesos con Enfoque ISO 9001,” *Rev. Publicando*, vol. 3, no. 7, pp. 276–294, 2016.
- [53] R. D. E. Rincon, “Los indicadores de gestión organizacional: una guía para su definición,” *Revista Universidad EAFIT*, vol. 34, no. 111. Medellin, pp. 43–59, 1998.
- [54] K. M. Alvarado-Ramírez, V. H. Pumisacho-Álvaro, J. Á. Miguel-Davila, and M. F. Suárez Barraza, “Kaizen, a continuous improvement practice in organizations: A comparative study in companies from Mexico and Ecuador,” *TQM J.*, vol. 30, no. 4, pp. 255–268, 2018, doi: 10.1108/TQM-07-2017-0085.
- [55] N. R. Sangwa and K. S. Sangwan, *Continuous kaizen implementation to improve leanness: A case study of indian automotive assembly line*, no. July. Springer International Publishing, 2020.
- [56] M. F. Suárez-Barraza and J. Á. Miguel-Dávila, “Implementación del Kaizen en México: Un estudio exploratorio de una aproximación gerencial japonesa en el contexto latinoamericano,” *Innovar*, vol. 21, no. 41, pp. 19–37, 2011, Accessed: nov. 23, 2020. [Online]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81822806003>.
- [57] H. Gallegos, “Sistema Kaizen en la administración (Kaizen system in administration).,” *Innovaciones de negocios*, vol. 4, no. 7, pp. 1–38, 2007.
- [58] K. Aoki, “Transferring Japanese *kaizen* activities to overseas plants in China,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 28, no. 6, pp. 518–539, May 2008, doi: 10.1108/01443570810875340.
- [59] S. Spear, “Aprendiendo a liderar en Toyota,” *Harv. Bus. Rev.*, 2004.
- [60] E. Glistau, “KAIZEN-La Logística como elemento integrante de la gestión de la calidad.” Accessed: Nov. 22, 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/327593665>.
- [61] S. S. Arumsari, Y. M. Rachim, and A. M. Aamer, “Factors of kaizen transferability in non-Japanese cultures,” *9th Int. Conf. Oper. Supply Chain Manag.*, no. December, pp. 1–10, 2019.
- [62] N. Kahaléa, “Randomized dimension reduction for monte carlo simulations,” *Manage. Sci.*, vol. 66, no. 3, pp. 1421–1439, 2020, doi: 10.1287/mnsc.2018.3250.
- [63] M. F. Suárez-Barraza, J. Ramis-Pujol, and L. Kerbache, “Thoughts on kaizen and its evolution: Three different perspectives and guiding principles,” *Int. J. Lean Six Sigma*, vol. 2, no. 4, pp.

- 288–308, 2011, doi: 10.1108/20401461111189407.
- [64] Masaaki Imai, M. Imai, and Masaaki Imai, *La Clave De La Ventaja Competitiva Japonesa*. 2018.
- [65] C. Jaca, E. Viles, J. Santos, and L. Paipa, “Modelo sTEM para la sostenibilidad del trabajo en equipos de mejora,” pp. 363–372, 2011.
- [66] R. Brooks, “Change for the better,” *TQM Mag.*, vol. 5, no. 4, p. EUM0000000003092, Apr. 1993, doi: 10.1108/EUM0000000003092.
- [67] S. Iwao, “Revisiting the existing notion of continuous improvement (Kaizen): literature review and field research of Toyota from a perspective of innovation,” *Evol. (“Sustaining Improvements in CLABSI Reduction in a Pediatric Cardiac ...”)* (“Sustaining Improvements in CLABSI Reduction in a Pediatric Cardiac ...”) *Institutional Econ. Rev.*, vol. 14, no. 1, pp. 29–59, 2017, doi: 10.1007/s40844-017-0067-4.
- [68] K. Aoki, “Transferencia de japonés kaizen actividades al extranjero plantas en China,” vol. 28, 2008.
- [69] R. López and E. Bermudez, “El kaizen en sofasa, más que una herramienta una forma de vida que busca la competitividad en la región,” pp. 1–62, 2004, [Online]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/10390/u251075.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [70] C. Tanner and R. Roncarti, “Kaizen leads to breakthroughs in responsiveness—and the shingo prize—at critikon,” *Natl. Product. Rev.*, vol. 13, no. 4, pp. 517–531, 1994, doi: 10.1002/npr.4040130406.
- [71] M. F. Suárez Barraza and J. Á. Miguel Dávila, “Encontrando al Kaizen : un análisis teórico de la mejora continua,” *Pecvnia Rev. la Fac. Ciencias Económicas y Empres. Univ. León*, vol. 7, no. 7, p. 285, 2008, doi: 10.18002/pec.v0i7.696.
- [72] L. Paipa-Galeano, C. A. Bernal-Torres, L. M. Agudelo-Otalora, Y. Jarrah-Nezhad, and H. A. González-Blanco, “Key lessons to sustain continuous improvement: A case study of four companies,” *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 13, no. 1, pp. 195–211, 2020, doi: 10.3926/jiem.2973.
- [73] M. O. Vento, J. L. G. Alcaraz, A. A. M. Macías, and V. M. Loya, “The impact of managerial commitment and kaizen benefits on companies,” *J. Manuf. Technol. Manag.*, vol. 27, no. 5, pp. 692–712, jun. 2016, doi: 10.1108/JMTM-02-2016-0021.
- [74] F. Gonzalez-Aleu, E. M. Van Aken, J. Cross, and W. J. Glover, “Continuous improvement project within Kaizen: critical success factors in hospitals,” *TQM J.*, vol. 30, no. 4, pp. 335–355, Jun. 2018, doi: 10.1108/TQM-12-2017-0175.

-
- [75] Z. Jia, K. Zhao, Y. Zhang, Y. Dai, and C. Liu, “Real-time performance evaluation and improvement of assembly systems with Bernoulli machines and finite production runs,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 57, no. 18, pp. 5749–5766, 2019, doi: 10.1080/00207543.2018.1544426.
 - [76] C. Jaca, E. Viles, L. Paipa-Galeano, J. Santos, and R. Mateo, “Learning 5S principles from Japanese best practitioners: Case studies of five manufacturing companies,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 52, no. 15, pp. 4574–4586, 2014, doi: 10.1080/00207543.2013.878481.
 - [77] L. Paipa-galeano, C. A. Bernal-torres, L. M. Agudelo-otalora, Y. Jarrah-nezhad, and H. A. González-blanco, “Lecciones clave para mantener la mejora continua : Un estudio de caso de cuatro empresas,” vol. 13, no. 1, pp. 195–211, 2020.
 - [78] P. Vera, C. Nikulin, M. Lopez-Campos, and R. G. G. Gonzalez Ramirez, “Prospective study using archetypes and system dynamics,” *Acad. Rev. Latinoam. Adm.*, vol. 32, no. 2, pp. 181–202, jun. 2019, doi: 10.1108/ARLA-05-2017-0151.
 - [79] P. Checkland and M. Winter, “Process and content: two ways of using SSM,” *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 57, no. 12, pp. 1435–1441, 2006, doi: 10.1057/palgrave.jors.2602118.
 - [80] D. Ma and T. V Martínez, “03/04/2013 Introducción Al Pensamiento Sistémico,” pp. 1–16, 2013, [Online]. Available: <https://www.ingenieria.unam.mx/sistemas/PDF/Avisos/Seminarios/introMP.pdf>.
 - [81] A. Olry, L. Lima, J. Mendoza García, Á. Luis, and M. Jiménez, “Más allá de las revisiones sistemáticas,” 2016.
 - [82] C. Andres Montoya Moreno and A. D. directora Gloria Elena Peña Zapata Ph UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE MINAS, “Modelamiento, con dinámica de sistemas, de una cadena de distribución de alimentos refrigerados Trabajo final presentado para optar al título de Magíster en Ingeniería,” 2011.
 - [83] M. Godinho Filho and R. Uzsoy, “Assessing the impact of alternative continuous improvement programmes in a flow shop using system dynamics,” *Int. J. Prod. Res.*, vol. 52, no. 10, pp. 3014–3031, 2014, doi: 10.1080/00207543.2013.860249.
 - [84] R. de cámaras de C. Confecámaras, “Apuestas dinamizadoras del desarrollo productivo en Colombia,” p. 73, 2019.
 - [85] M. F. S. Barraza, “La sostenibilidad de la mejora continua de procesos en la administración pública: un estudio en los ayuntamientos de españa,” Universitat Ramon Llull., 2008.
 - [86] A. F. J. GUALDRON, “MODELO DE SIMULACION CON DINAMICA DE SISTEMAS

PARA EL SISTEMA PRODUCTIVO DE LA FABRICA CALZADO BRIOSO Y BLESSING,” 2016.

- [87] L. Milena and C. Ardila, “Plataforma para la evaluación de políticas de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector eléctrico,” 2015.
- [88] A. Lew and P. A. Lew, *Dynamic Programming*, 1860th–949X ed. Saint Petersburg: Springer.
- [89] K. Q. K. Brown, “Dynamic programming in computer science,” no. 1979, 1979.

XVI ANEXOS

Ecuaciones del modelo

$$\text{CapitalTrabajo} = \text{Inversión} \times 0.2$$

$$\text{CompetenciasPersonal} = \text{Escala_ILUO}((\text{PresupuestoFormación} / 1e9 + \text{RotaciónPersonal})/2)$$

Nota: Promedia efecto del presupuesto y la rotación de personal. Máximo inicial: 100 millones.

$$\text{CostoMedioCapital} = \text{CapitalTrabajo} \times \text{WACC}$$

Nota: Unidad: porcentaje [0, 1].

$$\text{DisponibilidadRecursos} = \text{EVA} \times \text{MotivaciónDirección}$$

Nota: EVA inicial: 200 millones. Motivación inicial: 2.

$$\text{EficienciaGlobalPlanta} = \text{ProyectosMejora} / \text{Personal}$$

Nota: Índice entre [0, 1]. Valor inicial sugerido: 0.5.

$$\text{Escala_ILUO} \text{ definida por interpolación en puntos } [(0,0)-(1,4)]$$

Nota: Debe modelarse detalladamente.

$$\text{EVA}(t) = \int (\text{UtilidadOperacionalNeta} - \text{CostoMedioCapital}) dt + 1e6$$

Nota: Integral acumulativa con valor inicial 1e6.

$$\text{FINAL_TIME} = 12$$

Nota: Unidades: Mes.

$$\text{FormalizaciónMejoramiento} = \text{DisponibilidadRecursos} \times 0.5$$

$$\text{Gastos} = 1e8$$

Nota: Fragmento inicial sugerido: 0.5.

$$\text{Ingresos} = 3e8$$

$$\text{IngresosPersonal} = 10$$

Nota: Unidad: personas. Rango [0, 20].

$$\text{INITIAL_TIME} = 0$$

Nota: Unidades: Mes.

$$\text{Inversión} = 2e7$$

Nota: Rango esperado: [0, 2e8].

$$\text{MotivaciónDirección}(t) = \int \text{Variación} dt + 0.25$$

$$\text{MotivaciónPersonal} = \text{IF } \text{PresupuestoFormación} / 1e8 \times (1 - \text{SatisfacciónPersonal}) < 0 \text{ THEN } 0.001 \text{ ELSE esa expresión}$$

Nota: Define si hay efecto de formación.

$$\text{Personal}(t) = \int (\text{IngresosPersonal} - \text{SalidasPersonal}) dt + 200$$

Nota: Valor inicial: 200 personas.

$$\text{PresupuestoFormación} = \text{DisponibilidadRecursos}$$

$$\text{ProyectosMejora} = \text{CompetenciasPersonal} \times \text{MotivaciónPersonal} \times 50$$

$$\text{ResultadosEsperados} = \text{EVA} \times \text{ROI_Mejoras}$$

Retención = 0.5

Nota: Porcentaje definido por política.

$ROI_Mejoras = EficienciaGlobalPlanta \times MotivaciónPersonal \times ((Ingresos - Inversión)/Inversión)$

$RotaciónPersonal = (SalidasPersonal / ((IngresosPersonal + Personal)/2)) \times$

$(FormalizaciónMejoramiento / TopeInversiónMejoramiento)$

SalidasPersonal = IF condición THEN 0 ELSE cálculo con satisfacción y retención

Nota: Permite evitar salidas negativas.

$SatisfacciónPersonal(t) = \int MotivaciónPersonal dt + 0.5$

SAVEPER = TIME_STEP

Nota: Frecuencia de almacenamiento.

TIME_STEP = 1

Nota: Unidades: Mes.

TopeInversiónMejoramiento = 3e7

Nota: Definido como porcentaje del EVA.

UtilidadOperacionalNeta = Ingresos – Gastos

Variación = IF (ResultadosEsperados $\times$ (1 – MotivaciónDirección))/2e8 < 1 THEN esa expresión ELSE 0

Nota: Normaliza entre 0 y 1.

WACC = 0.5

Nota: Unidad: [0,1]. Estimado por industria.