



CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

REVISTA INDUSTRIAL 4.0

ISSN-L 2958-0188

Edición Digital
Nro. 12

Noviembre/2025

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



REVISTA INDUSTRIAL 4.0

**EDICIÓN DIGITAL N° 12
NOVIEMBRE - 2025**

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Maria Eugenia Garcia Moreno Ph. D.
Dr. Tito V. Estevez Martini
M.Sc Miguel Angel Calla Carrasco
M.Sc. Ing. Marcelo Ramirez Molina
Mg. Aldo Felipe Vargas Pacheco

Rectora
Vicerrector
Decano Facultad de Ingeniería
Vicedecano Facultad de Ingeniería
Director de Carrera Ingeniería Industrial

Revista Industrial 4.0
Edición Digital N°. 12 - Noviembre 2025
Impresa: ISSN 2958-017X
En Linea: ISSN-L 2958-0188

Comite Editor:

Mario Fermín Zenteno Benítez Ph.D.
Oswaldo Fernando Terán Modregón Ph.D.
M.Sc. Ing. Franz José Zenteno Benítez
M.Sc. Ing. Paula Mónica Lino Humerez
M.Sc. Ing. Lucio Grover Sanchez Eid
M.Sc. Ing. Fernando Floren Sanabria Camacho

Diseño Tapa Versión Impresa & Web:
Ing. Enrique Orosco Crespo

Imagen Tapa:
Universidad Mayor de San Andrés

Imprenta:
ITM LATINOAMÉRICA

Deposito Legal:
4 - 3 - 68 - 2020

Web:
<https://industrial.umsa.bo/revistaindustrial-40>
Email:
revistaindustrial4.0@umsa.bo

Av. Mcal. Santa Cruz N° 1175, Plaza del Obelisco
Mezzanine, Edificio Facultad de Ingeniería
Telf. 2205000-2205067, Int. 1402
Campus Universitario, Cota Cota - calle 30

PROLOGO

Revista "Industrial 4.0"

La producción científica en el campo de la ingeniería industrial ha trascendido la visión clásica de la optimización lineal de procesos para adentrarse en una dimensión de complejidad sistémica. En este volumen de la revista "Industrial 4.0", la Universidad Mayor de San Andrés presenta un conjunto de artículos que muestra, desde una perspectiva analítica, las múltiples facetas de la Ingeniería Industrial. La presente edición no es una mera colección de estudios aislados, sino una demostración de la convergencia necesaria entre la gestión estratégica de la innovación, la excelencia operativa y la sostenibilidad y ambiental.



En un primer nivel de análisis macro, la revista explora la arquitectura de los sistemas de innovación. Se presentan investigaciones que modelan la evolución de los ecosistemas emprendedores universitarios y la transición hacia infraestructuras de alta complejidad tecnológica, así como la conceptualización de la empresa universitaria. Estos trabajos dialogan fluidamente con estudios sobre la complejidad productiva, aportando marcos teóricos fundamentales para comprender las dinámicas de integración económica y el desarrollo de capacidades en entornos competitivos.

Descendiendo hacia la operatividad técnica y la eficiencia de los procesos, se presenta un escrutinio cuantitativo sobre la implementación de metodologías de Lean Six Sigma en el contexto de la Cuarta Revolución Industrial, complementado con evaluaciones financieras críticas sobre el Retorno de la Inversión (ROI) en la automatización. Esta sección se enriquece con análisis econométricos que correlacionan la digitalización de canales comerciales, específicamente en plataformas sociales, con la variabilidad de ingresos en el tejido de la manufactura a pequeña escala (MyPEs), evidenciando la simbiosis entre tecnología y rendimiento económico.

Finalmente, la publicación aborda con rigor científico el imperativo de la sostenibilidad y la economía circular. Se exponen hallazgos significativos en la revalorización de biomasa residual agroindustrial y se plantean revisiones sistemáticas sobre los marcos regulatorios y desafíos técnicos en la gestión de aceites lubricantes usados. De igual manera, se analizan las implicaciones ambientales del uso de biocombustibles en motores de combustión interna y la optimización integral del consumo energético. Estas investigaciones no solo proponen soluciones técnicas, sino que establecen las bases para una ingeniería responsable que responde a las leyes de la termodinámica y a la normativa ambiental vigente.

Así, esta edición de “Industrial 4.0” cumple su función primordial: servir como vehículo de difusión de conocimiento validado, fomentando un debate académico de alto nivel que vincula la teoría avanzada con la práctica ingenieril, consolidando el rol de la academia como generadora de soluciones complejas para una realidad empresarial en constante desarrollo.

Mg. Aldo Felipe Vargas Pacheco
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

<https://doi.org/10.53287/ujvh7578ee20e>

LEAN SIX SIGMA COMO ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN EN LA INDUSTRIA 4.0

Ing. Anaceli Espada Silva

Docente de la carrera de Ingeniería Industrial

Nº ORCID: 0000-0001-58367348

anaceli.espada@gmail.com

Teléfono: 72030303

Univ. Cristian Marcelo Heredia Ticona

Estudiante Ingeniería Industrial

Nº ORCID: 0009-0002-7246-5301

cmheredia1@umsa.bo

Teléfono: 75210415

RESUMEN

El presente artículo analiza la aplicación del Lean Six Sigma 4.0 como estrategia de optimización en el contexto de la Industria 4.0, integrando los principios del Lean Manufacturing y del Six Sigma con el uso de tecnologías digitales emergentes. A través de la simulación de casos para proyectar resultados de mejora uno correspondiente al sector productivo y otro al sector financiero se demuestra el potencial de esta metodología para reducir desperdicios, mejorar la calidad y fortalecer la toma de decisiones basada en datos en tiempo real. Los resultados proyectados evidencian incrementos significativos en eficiencia operativa, reducción de costos y aumento en la satisfacción del cliente, confirmando que la combinación entre las metodologías de mejora continua y las herramientas digitales constituye un modelo integral hacia la excelencia operativa, la sostenibilidad y la competitividad inteligente..

Palabras clave: Lean Six Sigma, Industria 4.0, optimización, mejora continua,

toma de decisiones.

ABSTRACT

This article analyzes the application of Lean Six Sigma 4.0 as an optimization strategy in the context of Industry 4.0, integrating the principles of Lean Manufacturing and Six Sigma with the use of emerging digital technologies. Through case simulations to project improvement results—one corresponding to the manufacturing sector and another to the financial sector—the potential of this methodology to reduce waste, improve quality, and strengthen decision-making based on real-time data is demonstrated. The projected results demonstrate significant increases in operational efficiency, cost reduction, and increased customer satisfaction, confirming that the combination of continuous improvement methodologies and digital tools constitutes a comprehensive model for operational excellence, sustainability, and smart competitiveness.

Keywords: Lean Six Sigma, Industry 4.0, optimization, continuous improvement, decision-making.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la acelerada transformación tecnológica ha modificado radicalmente la manera en que las empresas producen, gestionan información y se relacionan con su entorno. La llamada revolución digital ha impulsado un proceso de cambio continuo en todos los sectores, exigiendo que las organizaciones sean más ágiles, innovadoras y adaptables para mantenerse competitivas en mercados cada vez más dinámicos.

Si se analiza la lista de empresas del Fortune 500, únicamente 60 de las 500 compañías más grandes de Estados Unidos en 1955 permanecen activas en la actualidad (Heredia Jerez, 2019). Este hecho refleja que la mayoría no logró adaptarse al cambio tecnológico, en particular al originado por la invención del transistor en 1947, el cual marcó el inicio de la revolución digital moderna. Las empresas que no evolucionaron ante este avance desaparecieron o fueron desplazadas, mientras que aquellas que adoptaron una mentalidad de mejora continua e innovación tecnológica lograron sobrevivir y prosperar.

Ante este desafío, el LSS surge como una estrategia de optimización integral, al combinar los principios del Lean Manufacturing, enfocados en la eliminación de

desperdicios (Antony, 2019), con el rigor analítico del Six Sigma, orientado a reducir la variabilidad y mejorar la calidad (Womack & Jones, 2003).

El objetivo de este artículo es analizar el papel del LSS como estrategia de optimización en la Industria 4.0, abordando su base metodológica, sus aplicaciones prácticas y su impacto en la toma de decisiones empresariales, la productividad y la competitividad en la era digital.

2. COMPRESIÓN DEL LEAN SIX SIGMA

El LSS surge de la integración de dos metodologías de mejora de procesos complementarias: Lean Manufacturing y Six Sigma. Su propósito común es optimizar el desempeño organizacional mediante la eliminación de desperdicios, la reducción de la variabilidad y el mejoramiento continuo de la calidad (Womack & Jones, 2003). Esta sinergia permite que las empresas alcancen mayores niveles de eficiencia, productividad y satisfacción del cliente.

Lean Manufacturing

El Lean Manufacturing se originó en la década de 1950 dentro del TPS, desarrollado por Taiichi Ohno y Shigeo Shingo. Su objetivo principal es maximizar el valor para el cliente a través de la eliminación sistemática de actividades que no agregan valor (muda) y la mejora continua (kaizen) (Ohno, 1988)

Lean promueve un enfoque en el flujo de valor, buscando que cada proceso contribuya a entregar exactamente lo que el cliente necesita, en el momento justo JIT y con el mínimo desperdicio posible. Entre sus principales herramientas y técnicas se destacan:

- 5S: orden y limpieza en el área de trabajo para mejorar la eficiencia.
- VSM: identificación de desperdicios a lo largo del proceso.
- Kanban: control visual de la producción y del inventario.
- SMED: reducción de tiempos de cambio o preparación.
- Poka-Yoke: mecanismos a prueba de errores.

La implementación de Lean implica un cambio cultural en la organización, donde el compromiso de todos los niveles jerárquicos resulta esencial para sostener la mejora continua (Womack & Jones, 2003).

Six Sigma

Six Sigma fue desarrollada en Motorola a mediados de los años 80, liderada por Bill Smith y Mikel Harry, como una estrategia estadística destinada a reducir la variabilidad y mejorar la calidad de los procesos (Montgomery, 2020). Su nombre proviene del símbolo griego “ σ ” (sigma), que representa la desviación estándar en estadística, es decir, el nivel de dispersión de los resultados respecto al valor esperado.

El objetivo de Six Sigma es alcanzar procesos con una variabilidad tan baja que produzcan menos de 3,4 DPMO, lo que equivale a un nivel de calidad casi perfecto (George, Rowlands, Price, & Maxey, 2005).

La metodología se estructura bajo el ciclo DMAIC, compuesto por cinco fases:

- Definir: identificar el problema y las expectativas del cliente.
- Medir: recolectar y validar los datos del proceso.
- Analizar: identificar causas raíz de los defectos.
- Mejorar: implementar soluciones que optimicen el desempeño.
- Controlar: mantener y estandarizar las mejoras logradas.

Six Sigma se apoya en herramientas estadísticas como el Cp e Cpk, SPC y DOE, las cuales permiten tomar decisiones basadas en evidencia cuantitativa (Montgomery, 2020).

Integración Lean – Six Sigma

La combinación de ambos enfoques da origen al LSS, una filosofía integral que busca hacer más con menos, garantizando a la vez procesos estables y de alta calidad (Antony, 2019). Mientras Lean se centra en la velocidad y el flujo de valor, Six Sigma se enfoca en la precisión y la reducción de variabilidad.

En conjunto, estas metodologías ofrecen una estructura robusta que permite identificar y eliminar causas de ineficiencia y defectos, alineando los objetivos operativos con la estrategia empresarial. LSS utiliza equipos de mejora liderados por profesionales certificados (White, Green y Black Belts), quienes aplican la metodología para resolver problemas complejos y lograr resultados sostenibles (George, Rowlands, Price, & Maxey, 2005).

Su efectividad radica en que combina la eficiencia operativa con la rigurosidad analítica, estableciendo una base sólida para los sistemas productivos inteligentes y la transformación hacia la excelencia operacional.

3. LEAN SIX SIGMA EN LA ERA DE LA INDUSTRIA 4.0

La Industria 4.0 representa la evolución de los sistemas productivos hacia un entorno interconectado, digital y autónomo. Esta nueva era combina tecnologías como el IoT, la IA, la analítica de datos, los CPS y la automatización inteligente, promoviendo una gestión basada en información en tiempo real (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013; Lee, Bagheri & Kao, 2015).

En este contexto, la metodología LSS se fortalece al integrarse con las herramientas digitales, permitiendo procesos más eficientes, predecibles y sostenibles. Su aplicación dentro del marco de la Industria 4.0 da lugar a lo que se denomina LSS 4.0, un enfoque que une la filosofía de mejora continua con la capacidad tecnológica de los sistemas inteligentes para la optimización integral de procesos (Antony, 2019).

La Metodología DMAIC como estructura base

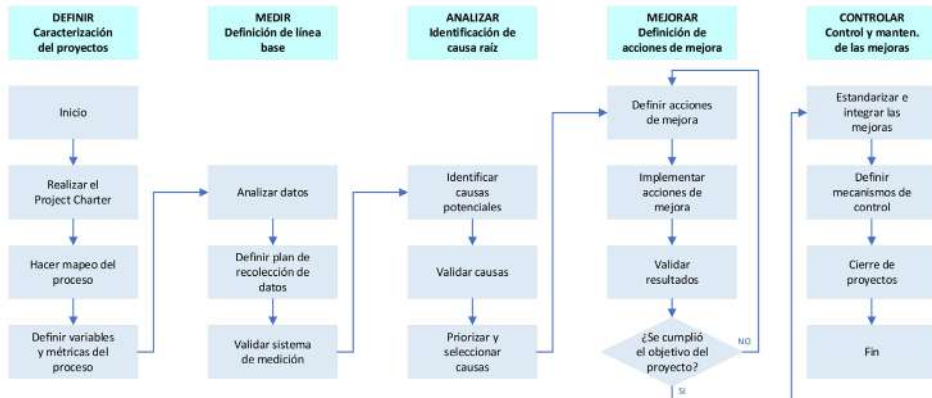
El corazón de LSS se encuentra en la metodología DMAIC. Este ciclo sistemático guía a las organizaciones desde la identificación del problema hasta la estandarización de las soluciones implementadas (Montgomery, 2020).

Esta metodología ofrece una estructura clara y flexible que puede aplicarse en cualquier sector industrial o de servicios, permitiendo una toma de decisiones objetiva y basada en datos. Su éxito depende tanto del rigor analítico como del compromiso organizacional hacia la mejora continua.

Representación general de la metodología DMAIC

La Figura 1 representa de forma general la estructura metodológica del ciclo DMAIC, empleada en proyectos LSS. Cada fase está compuesta por una serie de actividades que permiten avanzar de manera lógica y controlada desde la definición del problema hasta el cierre exitoso del proyecto.

Figura 1: Metodología DMAIC para proyectos LSS



Nota: Adaptado de Revista Chilena de Ingeniería (Felizola y Luna, 2021)

Esta secuencia metodológica facilita la integración de datos, análisis y control de manera ordenada, adaptándose a distintos niveles de complejidad y tamaño de empresa. Su fortaleza radica en que puede complementarse con herramientas digitales propias de la Industria 4.0 como la automatización de mediciones, la analítica avanzada o la simulación virtual sin perder su esencia estructurada y práctica.

Sinergia entre Lean Six Sigma y la Industria 4.0

La convergencia entre LSS y la Industria 4.0 permite evolucionar desde un modelo reactivo hacia un enfoque predictivo e inteligente, en el que los procesos pueden medirse, analizarse y controlarse en tiempo real (Hermann, Pentek, & Otto, 2016).

Esta integración convierte a LSS en una herramienta clave de la optimización inteligente, alineada con los principios de la transformación digital industrial.

4. APLICACIONES PRÁCTICAS EN LA TOMA DE DECISIONES EMPRESARIALES

La integración del LSS con las tecnologías de la Industria 4.0 como el IoT, la analítica de datos, los CPS y el RPA ha transformado la manera en que las organizaciones gestionan la mejora continua.

En la actualidad, las decisiones empresariales ya no se basan únicamente en la

experiencia, sino en datos en tiempo real generados desde las propias operaciones. Esta convergencia permite detectar causas raíz con mayor rapidez, optimizar flujos de trabajo y mantener el control estadístico de los procesos de manera automatizada.

Diversas corporaciones líderes han demostrado la efectividad del LSS 4.0 al combinar filosofía de mejora continua con tecnologías inteligentes. A continuación, se resumen algunos casos representativos que evidencian cómo la aplicación de herramientas digitales y analíticas permite tomar decisiones más precisas, rápidas y sostenibles.

Tabla 1: Aplicaciones destacadas de LSS 4.0 en Empresas Líderes

Empresa / Sitio	Aplicación y tecnología empleada	Indicadores clave monitoreados	Resultados obtenidos
Bosch Rexroth (Planta hidráulica, EE. UU.)	Integración hombre-máquina mediante la plataforma ActiveCockpit, con captura automática de datos y tableros digitales en tiempo real.	Tiempo de ciclo, disponibilidad de equipos, OEE, MTBF/MTTR, tasa de incidencias.	Reducción del 27 % en el tiempo de ciclo, 50 % menos mantenimiento correctivo y optimización del 50 % del espacio físico.
Siemens – Electronics Works Amberg (EWA, Alemania)	Implementación de una fábrica digital con gemelos digitales (CPS) y analítica avanzada para el control de calidad y la trazabilidad.	% de retrabajo, DPMO, tiempo de liberación de lote, rendimiento de primera pasada (FPY).	Disminución de hasta 30 % en el esfuerzo de prueba en equipos de rayos X y aumento del rendimiento de primera pasada.
Toyota Motor Corporation (TPS)	Aplicación de la filosofía Lean TPS, basada en la eliminación de desperdicios, flujo tirado por demanda y sincronización digital del Kanban.	Inventario promedio, lead time, sincronía de flujo, cumplimiento JIT y nivel de servicio.	Reducción del 30 % en inventarios, mejora del 20 % en tiempo de entrega y aumento del nivel de servicio al cliente.
Transformación 4.0 (Meta-síntesis industrial)	Adopción combinada de Lean + tecnologías 4.0 (IoT, analítica y automatización inteligente).	OEE, lead time, DPMO, consumo energético por unidad, productividad por hora-hombre.	Incremento promedio del 15–25 % en eficiencia operacional, reducción del 40 % en desperdicios y disminución del 25 % en lead time.

Nota: Elaboración con base en datos públicos de Bosch Group, Siemens AG, Toyota Global y GE Reports.

Los resultados de estos casos reflejan una tendencia clara: la digitalización amplifica los beneficios del LSS, permitiendo gestionar procesos complejos con mayor visibilidad y precisión. Las tecnologías 4.0 convierten los datos operativos en información estratégica, habilitando una toma de decisiones más ágil, predictiva y fundamentada.

5. IMPACTO EN LA OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

La siguiente tabla resume los impactos más representativos obtenidos tras la aplicación de LSS 4.0, contrastando los valores antes y después de la implementación, junto con los rangos de mejora típicos observados en industrias internacionales. Esta estructura puede utilizarse como modelo de referencia para presentar los resultados de casos propios o simulaciones.

Tabla 2: Impacto de Lean Six Sigma 4.0 en indicadores operativos

Indicador	Antes	Después	Mejora obtenida	Rango típico observado	Logros y efectos estratégicos alcanzados
Eficiencia global (OEE)	72 %	86 %	+14 puntos	+10 a +20 puntos en adopciones Lean 4.0	Bosch Rexroth mejoró el aprovechamiento de sus recursos y redujo pérdidas operativas, aumentando su capacidad de producción sin ampliar infraestructura. Este resultado fortaleció su posición como referente de eficiencia en manufactura avanzada.
Tasa de defectos (DPMO)	45 000	12 000	-73 %	-20 % a -60 % según nivel de madurez	Siemens Amberg alcanzó niveles de precisión cercanos al 99,9 %, convirtiéndose en una de las plantas más automatizadas del mundo. La mejora en la calidad consolidó su reputación internacional en ingeniería de producción inteligente.
Tiempo de ciclo	5,2 s	3,8 s	-27 %	-15 % a -30 % (Bosch Rexroth -27 %)	Toyota Motor Corporation, al digitalizar su sistema Kanban, logró reducir tiempos de entrega y aumentar la flexibilidad de su cadena de suministro. Esto le permitió mantener liderazgo mundial y adaptarse rápidamente a la demanda global.
Costos de no calidad (índice)	100	58	-42 %	Disminución del 35-45 % en procesos con SPC/IoT	La implementación de SPC y IoT en varias plantas permitió reducir desperdicios, retrabajos y consumo energético, mejorando la rentabilidad y sostenibilidad ambiental.

Satisfacción del cliente	82 %	94 %	+12 puntos	+10 a +15 puntos por mejoras en calidad y entrega	Siemens y Toyota aumentaron la confianza y fidelidad de sus clientes al ofrecer productos con mayor confiabilidad y puntualidad. Esto se tradujo en crecimiento sostenido de ventas y preferencia de mercado.
--------------------------	------	------	------------	---	---

Nota: Elaboración a partir de datos de McKinsey & Company (2023), Bosch Group (2020) y Toyota Global (2022).

Estos resultados evidencian que el LSS 4.0 no solo mejora la productividad, sino que fortalece la sostenibilidad industrial, al optimizar el uso de energía y materiales. Asimismo, permite crear una cultura organizacional basada en la toma de decisiones por evidencia, donde cada mejora se valida mediante datos objetivos y no por percepciones.

6. SIMULACIÓN DE CASOS PARA PROYECTAR LOS RESULTADOS DE MEJORA

Con el fin de validar la sostenibilidad y escalabilidad de los resultados observados, se desarrollarán simulaciones para dos contextos: una empresa manufacturera de bebidas (Andes Drinks S.A.) y una entidad de servicios financieros (Finanzas Andinas S.A.). Las simulaciones estiman el desempeño a 6 y 12 meses posteriores a la implementación de LSS 4.0, bajo diferentes escenarios de demanda y madurez operativa.

1. Empresas en el Sector Industrial (Andes Drinks S.A.)

1.1. Introducción del caso

El presente caso de estudio fue desarrollado para demostrar la aplicación práctica de la metodología LSS bajo el enfoque DMAIC, incorporando herramientas digitales de la Industria 4.0 (Antony, 2019). El contexto corresponde a una empresa manufacturera de bebidas no alcohólicas, denominada Andes Drinks S.A., dedicada al envasado de jugos naturales en botellas PET de 500 ml.

Durante el año 2024, la empresa detectó pérdidas significativas en su línea de envasado debido a defectos en el sellado térmico y variaciones en la eficiencia de los equipos. Estas condiciones ocasionaban un 6,5% de productos defectuosos, altos costos de no calidad y retrasos en la entrega.

El objetivo principal del proyecto fue reducir la tasa de defectos a menos del 3%,

mejorar la OEE al 85% o superior, e implementar un sistema de monitoreo digital que permitiera la toma de decisiones en tiempo real.

1.2. Integración de herramientas Lean y Six Sigma en el proyecto

En este proyecto, Andes Drinks S.A. aplicó un conjunto de herramientas seleccionadas de ambas filosofías, priorizando aquellas más pertinentes al tipo de proceso automatizado.

Tabla 3: Herramientas LSS aplicadas en el caso Andes Drinks S.A.

Fase DMAIC	Herramientas Lean	Herramientas Six Sigma	Propósito principal
Definir	SIPOC, VSM	Project Charter, Voz del Cliente (VOC)	Identificar el flujo de valor y el problema clave.
Medir	5S (área de medición)	Plan de recolección de datos, Gage R&R	Asegurar la calidad y precisión de los datos recolectados.
Analizar	Análisis de flujo de valor (VSM futuro)	Diagrama de Pareto, Ishikawa, Análisis de capacidad (Cp, Cpk)	Detectar las causas raíz y cuantificar la variabilidad.
Mejorar	SMED, Poka-Yoke, Kanban digital	Diseño de Experimentos (DOE), simulación	Implementar mejoras rápidas y sostenibles con base en evidencia.
Controlar	Tablero digital (KPI), Estandarización 5S	Control Estadístico de Procesos (SPC)	Mantener la estabilidad y prevenir desviaciones.

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

Fase “Definir” – Identificación del problema

En la primera etapa se elaboró el Project Charter, estableciendo el alcance y los objetivos:

Tabla 4: Project Charter del caso Andes Drinks S.A.

Elemento	Descripción
Problema principal	Alta tasa de defectos en el sellado térmico (6,5%).
Objetivo del proyecto	Reducir defectos a $\leq 3\%$ y mejorar OEE $\geq 85\%$.
Duración estimada	4 meses.
Equipo de trabajo	Líder Black Belt, ingeniero de procesos, analista financiero, operador jefe.

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

Figura 1: Proceso del caso Andes Drinks S.A.

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso



El análisis del flujo reveló demoras por ajustes de máquina, retrasos en calibración de temperatura y paradas por mantenimiento correctivo, considerados “muda” en filosofía Lean.

Fase “Medir” – Evaluación del desempeño inicial

Se recolectaron datos de tres semanas consecutivas con un plan de medición validado (Gage R&R).

Tabla 5: Indicadores de Evaluación de Desempeño del caso Andes Drinks S.A. Nota:

Indicador	Promedio inicial	Unidad de medida
Defectos por lote	6,5%	%
Tiempo de ciclo	5,1	segundos/botella
OEE (eficiencia global)	72%	%
Costos de no calidad	14.200	Bs/mes

Elaboración en base a la simulación del Caso

Se observó una variabilidad térmica significativa ($\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) en el sellado, afectando la

adherencia del cierre.

Fase “Analizar” – Causas raíz y diagnóstico

Con el uso del diagrama de Pareto se identificó que el 68% de los defectos correspondían a temperaturas inestables y falta de calibración oportuna.

Tabla 6: Causas principales de defectos del caso Andes Drinks S.A.

Causa	% de defectos
Variación térmica	40%
Calibración irregular	28%
Material fuera de norma	18%
Otros	14%

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

Se realizó un análisis de capacidad (Cpk), evidenciando que el proceso tenía Cpk = 0,82, lo cual indica que no cumplía con las especificaciones de calidad (Cpk < 1,33).

Fase “Mejorar” – Soluciones implementadas

Las acciones de mejora se desarrollaron mediante el uso de herramientas LSS:

Tabla 7: Implementación de herramientas de LSS del caso Andes Drinks S.A.

Acción	Herramienta asociada	Beneficio esperado
Instalación de sensores IoT en selladora	Poka-Yoke / SPC	Monitoreo automático de temperatura y presión.
Reducción del tiempo de cambio de formato	SMED	Incremento en disponibilidad de máquina.
Implementación de Kanban digital	Kanban	Flujo visual y reposición automática de tapas.
Capacitación del personal operativo	5S / Kaizen	Reducción de errores humanos y orden.

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

Tabla 8: Resultados de la Implementación del caso Andes Drinks S.A.

Indicador	Antes	Después	Variación (%)
Defectos (%)	6,5	2,3	-64,6%
Tiempo de ciclo (s)	5,1	4,0	-21,6%
OEE (%)	72	88	+16 pts
Costos de no calidad (Bs/mes)	14.200	5.300	-62,7%
Cpk	0,82	1,48	+80%

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

Fase “Controlar” – Sostenibilidad y control estadístico

El proyecto busca implementar un tablero digital de control (dashboard) conectado a la nube que integra datos de sensores y genera alertas automáticas cuando el proceso sale de los límites de control.

Antes: dispersión irregular y picos de desviación $> \pm 3\sigma$.

Después: estabilidad con variación térmica promedio $\pm 1,2\sigma$.

El proceso logró mantenerse dentro de límites controlados por 90 días consecutivos, garantizando la sostenibilidad de la mejora.

1.3. Impacto financiero y retorno de la inversión

La reducción de defectos y tiempos improductivos tuvo un impacto financiero directo:

Tabla 9: Impacto Financiero del caso Andes Drinks S.A.

Concepto	Antes (Bs/mes)	Después (Bs/mes)	Ahorro mensual (Bs)
Retrabajos	7.800	2.900	4.900
Desperdicios	6.400	2.400	4.000
Total mensual	14.200	5.300	8.900
Inversión inicial:	Bs 18.000 (sensores IoT y software).		
ROI:	2,02 meses.		

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

Este resultado confirma que el proyecto no solo mejoró la calidad del producto, sino que generó valor económico tangible, aumentando la competitividad de la empresa.

1.4. Conclusiones del caso Andes Drinks S.A.

El proyecto LSS 4.0 permitió reducir defectos en un 64,6%, mejorar la OEE en 16 puntos porcentuales, y alcanzar un retorno financiero en menos de tres meses.

La integración de herramientas Lean como 5S, SMED y Kanban junto con herramientas Six Sigma como el análisis de capacidad, Pareto e SPC demostró la sinergia entre la eficiencia operativa y el control estadístico, generando un proceso más estable, rentable y sostenible.

1.5. Proyección de resultados y análisis de sostenibilidad

Una vez implementadas las acciones de mejora, se desarrolló una simulación de desempeño proyectado con el fin de estimar la sostenibilidad de los resultados y la posible evolución del proceso en horizontes de seis y doce meses posteriores a la intervención.

La simulación se realizó considerando las condiciones actuales del proceso, la estabilización del control estadístico y la consolidación de la capacitación del personal operativo. Los resultados permiten prever que, con el mantenimiento de las rutinas de control y el uso permanente de los sensores IoT, las mejoras obtenidas pueden no solo mantenerse, sino incluso incrementarse ligeramente por efecto de la madurez operativa.

Tabla 10: Proyección de desempeño de Andes Drinks S.A. (6 y 12 meses)

Indicador	Antes	Después del proyecto	Proyección a 6 meses	Proyección a 12 meses
Defectos (%)	6,5	2,3	2,2	2,1
OEE (%)	72	88	89	90
Tiempo de ciclo (s)	5,1	4,0	3,9	3,9
Costos de no calidad (Bs/mes)	14.200	5.300	5.000	4.900
Cpk (capacidad del proceso)	0,82	1,48	1,55	1,57

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

Los resultados proyectados indican una tendencia de mejora sostenida, alcanzando un OEE promedio del 89-90 % y una reducción de defectos cercana al 2 %.

Estas mejoras se traducen en un ahorro anual estimado de Bs 106.800, con una recuperación de inversión en apenas dos meses.

- Además, la estabilidad del proceso y la digitalización de la línea generan efectos estratégicos adicionales, tales como:
- Mayor capacidad de respuesta ante la demanda sin requerir nuevas máquinas.
- Reducción del consumo energético por ciclo y aprovechamiento más eficiente de materiales.
- Incremento de la confiabilidad operativa, lo que consolida la imagen de la empresa como un referente de eficiencia y sostenibilidad industrial en el sector de bebidas.

De esta manera, el caso Andes Drinks S.A. no solo evidencia el impacto inmediato de la metodología LSS 4.0, sino que también demuestra su viabilidad a largo plazo, validando que la combinación de herramientas estadísticas y tecnologías digitales permite mantener la excelencia operativa de forma sostenida en el tiempo

2. Empresas del Sector Financiero (Finanzas Andinas S.A.)

2.1. Introducción del caso

El presente caso de estudio muestra la aplicación del enfoque LSS 4.0 en una institución financiera boliviana denominada “Finanzas Andinas S.A.”, dedicada a otorgar créditos personales y empresariales.

Durante el año 2024, la entidad identificó problemas de demora en la aprobación de créditos, afectando la satisfacción del cliente y aumentando los costos operativos asociados a reprocesos y verificaciones duplicadas. El tiempo promedio de aprobación alcanzaba los 7,8 días hábiles, superando los 5 días establecidos por la normativa interna.

El objetivo del proyecto fue optimizar el proceso de evaluación y aprobación de créditos, reduciendo los tiempos de respuesta y mejorando la experiencia del cliente, mediante la aplicación del ciclo DMAIC y el uso de herramientas digitales propias de la Industria 4.0, como RPA y la analítica de datos en tiempo real.

2.2. Integración de herramientas Lean y Six Sigma en el proyecto

En el sector financiero los desperdicios (muda) se relacionan con reprocesos, esperas, errores administrativos o decisiones redundantes. La combinación de herramientas LSS permite eliminar ineficiencias y reducir la variabilidad en los tiempos de respuesta, asegurando calidad y rapidez en la atención.

Tabla 11: Herramientas LSS aplicadas en el caso “Finanzas Andinas S.A.”

Fase DMAIC	Herramientas Lean	Herramientas Six Sigma	Aplicación específica
Definir	SIPOC, Mapa de flujo de valor (VSM)	Project Charter, VOC	Identificación de cuellos de botella en el flujo de crédito.
Medir	5S digital (orden documental)	Plan de muestreo, Gage R&R (consistencia en tiempos)	Validación de la medición de tiempos por tipo de solicitud.
Analizar	VSM futuro, Pareto	Diagrama de Ishikawa, Análisis de capacidad (Cpk)	Identificación de causas raíz y variabilidad por sucursal.
Mejorar	Kaizen digital, Poka-Yoke en formularios	Diseño de Experimentos (DOE)	Implementación de automatización (RPA) y mejora de flujos.
Controlar	Tablero de indicadores (Power BI)	SPC (control de tiempos de ciclo)	Monitoreo de estabilidad y cumplimiento de plazos.

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

Fase “Definir” – Identificación del problema

Durante las reuniones iniciales con los líderes de proceso, se detectó que el 45% de las demoras provenían de duplicación de tareas en las áreas de análisis y validación. Se elaboró un Project Charter con los siguientes elementos:

Tabla 12: Project Charter del caso “Finanzas Andinas S.A.”

Elemento	Descripción
Problema principal	Demoras excesivas en la aprobación de créditos.
Objetivo general	Reducir el tiempo de aprobación de 7,8 a ≤4 días hábiles.
Alcance	Procesos de crédito personal y PyME.
Indicadores clave (KPI)	Tiempo de aprobación, tasa de reprocesos, satisfacción del cliente.
Duración del proyecto	5 meses.

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

Figura 2: Proceso del caso “Finanzas Andinas S.A.”



Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

El flujo mostraba cuellos de botella en la revisión documental y en la validación legal, donde se acumulaban los retrasos más significativos.

Fase “Medir” – Evaluación del desempeño inicial

Se recolectaron datos de 150 solicitudes procesadas durante un mes, clasificadas por tipo de cliente y sucursal.

Tabla 13: Indicadores de Evaluación de Desempeño

Indicador	Promedio inicial	Unidad de medida
Tiempo promedio de aprobación	7,8	días hábiles
Tasa de reprocesos (errores de validación)	9,2	%
Costo administrativo promedio por crédito	165	Bs
Satisfacción del cliente	78	%
Capacidad del proceso (Cpk)	0,87	—

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

El análisis de dispersión mostró alta variabilidad entre sucursales, con diferencias

de hasta 3 días entre las más y menos eficientes.

Fase “Analizar” – Identificación de causas raíz

Se empleó un diagrama de Ishikawa para clasificar las causas bajo las categorías de “Método, Medio, Mano de Obra, Máquina y Material”.

Principales causas identificadas:

- Método: redundancia en revisión de documentos.
- Medio: uso de sistemas no integrados (plataforma y correo).
- Mano de obra: validaciones manuales repetidas.
- Máquina: falta de automatización de tareas simples (RPA).
- Material: formularios incompletos de clientes.

Tabla 14: Causas de demora en el proceso de crédito

Causa	% de incidencia
Revisión documental duplicada	35%
Falta de integración de sistemas	28%
Validaciones manuales	20%
Formularios incompletos	10%
Otros	7%

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

El 63% de las demoras se concentraban en dos causas principales, lo que permitió priorizar las soluciones.

Fase “Mejorar” – Implementación de soluciones

A partir del análisis, se aplicaron tres medidas principales:

- Automatización de tareas repetitivas (RPA): digitalización del flujo de aprobación y validación automática de formularios.
- Integración de sistemas (CRM + Core Bancario): conexión directa entre áreas sin necesidad de reenvío de correos.
- Estandarización Lean 5S digital: organización documental y eliminación de pasos innecesarios en la revisión

Tabla 15: Resultados de la Implementación del caso “Finanzas Andinas S.A.”

Indicador	Antes	Después	Variación (%)
Tiempo promedio de aprobación	7,8 días	3,9 días	-50%
Tasa de reprocesos	9,20%	3,10%	-66%
Costo administrativo por crédito	165 Bs	108 Bs	-34%
Satisfacción del cliente	78%	92%	+14 pts
Cpk (capacidad del proceso)	0,87	1,46	68%

Nota: Elaboración Propia

Fase “Controlar” – Monitoreo y estandarización

Se implementó un tablero digital (Power BI) para visualizar los tiempos promedio de aprobación en tiempo real y generar alertas automáticas en caso de desviaciones.

Además, se estableció una revisión mensual de indicadores Lean Six Sigma a nivel gerencial para asegurar la continuidad de la mejora.

Tabla 16: Tendencia del tiempo promedio de aprobación de créditos

Mes	Tiempo promedio (días)
Enero	7,8
Febrero	6,4
Marzo	4,9
Abril	4,1
Mayo	3,9

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

El proceso se estabilizó por debajo del objetivo (<4 días) y se mantuvo con variabilidad controlada ($\pm 0,3$ días) durante tres meses.

2.3. Impacto financiero y retorno de la inversión

La mejora generó un ahorro operativo promedio de 57 Bs por crédito, lo que representa Bs 342.000 anuales, considerando 6.000 operaciones anuales.

Además, al mejorar la rapidez y confiabilidad, la institución aumentó su tasa de retención de clientes en 8%, traduciéndose en un incremento estimado de ingresos por Bs 480.000 anuales.

Tabla 17: Impacto Financiero del caso “Finanzas Andinas S.A.”

Concepto	Antes (Bs)	Después (Bs)	Ahorro / Ingreso (Bs)
Costos operativos	990.000	648.000	342.000
Ingresos por retención	5.520.000	6.000.000	480.000
Impacto total estimado	—	—	+822.000 / año

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

2.4. Conclusiones del caso “Finanzas Andinas S.A.”

El proyecto LSS 4.0 permitió reducir en un 50% el tiempo promedio de aprobación de créditos, disminuir los reprocesos en dos tercios y mejorar la satisfacción del cliente en 14 puntos porcentuales.

Desde el punto de vista financiero, la mejora generó un impacto anual positivo de Bs 822.000, validando que la optimización de procesos en el sector financiero tiene efectos directos en la rentabilidad y fidelización de clientes.

Este caso confirma que el DMAIC aplicado a servicios digitales puede adaptarse exitosamente a la banca moderna, combinando eficiencia Lean, control estadístico Six Sigma y herramientas digitales como el RPA, BI y la analítica predictiva.

2.5. Proyección de resultados y sostenibilidad del caso “Finanzas Andinas S.A.”

Tras la implementación de las mejoras y la estabilización del nuevo flujo digital de aprobación de créditos, se desarrolló una simulación proyectiva de desempeño para evaluar la sostenibilidad y evolución de los resultados en horizontes de seis y doce meses.

El modelo de simulación consideró las siguientes condiciones: consolidación de la automatización mediante RPA, mantenimiento de la integración CRM–Core Bancario y la madurez del SPC aplicado al tiempo de ciclo.

El objetivo de la simulación fue estimar la eficiencia esperada del proceso en el mediano plazo, asumiendo que la organización mantiene las prácticas LSS implementadas y refuerza la capacitación continua del personal operativo y de soporte.

Tabla 18: Proyección de desempeño de Finanzas Andinas S.A. (6 y 12 meses)

Indicador	Antes	Después del proyecto	Proyección a 6 meses	Proyección a 12 meses
Tiempo promedio de aprobación (días)	7,8	3,9	3,8	3,8
Tasa de reprocesos (%)	9,2	3,1	2,9	2,8
Costo administrativo por crédito (Bs)	165	108	107	106
Satisfacción del cliente (%)	78	92	93	94
Cpk (capacidad del proceso)	0,87	1,46	1,51	1,52

Nota: Elaboración en base a la simulación del Caso

Los resultados simulados evidencian que el proceso mantendría la estabilidad alcanzada tras la mejora, con variaciones mínimas y una tendencia a la consolidación de la eficiencia operativa.

A los seis meses, el tiempo promedio de aprobación se estabilizaría en 3,8 días hábiles, con reprocesos inferiores al 3 % y un Cpk superior a 1,5, lo que indica un nivel de capacidad óptimo para procesos de servicio.

A los doce meses, se prevé un incremento sostenido de la satisfacción del cliente (hasta 94 %), producto de la reducción de tiempos de espera, la transparencia del flujo automatizado y la precisión en la validación documental.

7. FUTURO DEL LEAN SIX SIGMA EN LA INDUSTRIA 4.0

El futuro del LSS se encuentra estrechamente vinculado con la evolución de la Industria 4.0 y la transición hacia la Industria 5.0, donde la colaboración entre humanos y tecnologías inteligentes marcará un nuevo paradigma de optimización.

Las tendencias actuales apuntan a una integración cada vez mayor entre la metodología DMAIC y las herramientas digitales avanzadas, como la IA, el Machine Learning y los gemelos digitales. Estas tecnologías permitirán automatizar la detección de causas raíz, predecir fallas, y proponer soluciones en tiempo real con base en grandes volúmenes de datos (Lee, Bagheri, & Kao, 2015).

En el ámbito empresarial, el LSS 4.0 evolucionará hacia modelos autoadaptativos, capaces de ajustar los procesos de manera continua gracias al análisis predictivo y la conectividad total entre máquinas, sistemas y personas. De esta forma, las decisiones dejarán de ser reactivas para convertirse en decisiones inteligentes, sustentadas en datos confiables y algoritmos de optimización (Antony, 2019).

Asimismo, la transición hacia la Industria 5.0 pondrá énfasis en la personalización, sostenibilidad y bienestar humano, combinando la eficiencia de los sistemas ciberfísicos con la creatividad y el juicio del talento humano. En este contexto, el LSS se consolidará como una herramienta estratégica no solo para maximizar la productividad, sino también para alinear la tecnología con los valores éticos, ambientales y sociales (Kamble, Gunasekaran, & Dhone, 2020).

8. CONCLUSIONES

La integración de Lean y Six Sigma, fortalecida por las tecnologías de la Industria 4.0, se consolida como una estrategia eficaz para la optimización de procesos en distintos sectores. A través del marco metodológico DMAIC, se demostró cómo las organizaciones pueden definir problemas relevantes, medir con datos confiables, analizar causas raíz, implementar mejoras basadas en evidencia y controlar para sostener los resultados alcanzados. Esta estructura, combinada con el soporte digital y la analítica avanzada, impulsa la eficiencia, la calidad y la capacidad de decisión basada en información objetiva.

Los casos de estudio desarrollados, uno correspondiente al sector productivo y otro al sector financiero fueron elaborados de forma demostrativa y original, con el propósito de ilustrar de manera clara y comprensible la aplicabilidad del LSS 4.0 en contextos distintos. Si bien ambos se inspiraron en referencias y modelos conceptuales presentes en la literatura especializada, su desarrollo y resultados son de creación propia, diseñados para mostrar de forma práctica cómo esta metodología puede adaptarse a diferentes realidades organizacionales y generar valor tangible en términos de eficiencia, costos y satisfacción del cliente.

Los resultados obtenidos reflejan el potencial del LSS 4.0 como herramienta transversal de mejora continua, capaz de traducir la reducción de defectos, reprocesos y tiempos de ciclo en impactos económicos, operativos y estratégicos. En síntesis, el trabajo evidencia que la convergencia entre la filosofía Lean, la

rigurosidad estadística de Six Sigma y las tecnologías digitales constituye un modelo de gestión integral, adaptable, sostenible y centrado en la excelencia operativa. Su evolución hacia la Industria 5.0 plantea un horizonte donde la eficiencia se combina con la sostenibilidad, la ética y el valor humano, consolidando un nuevo paradigma de competitividad inteligente.

9. RECOMENDACIONES

A partir del análisis y los resultados presentados, se recomienda que las organizaciones interesadas en fortalecer su desempeño implementen una hoja de ruta de madurez LSS 4.0, que inicie con un diagnóstico del flujo de valor y la calidad de los datos, continúe con la ejecución de proyectos piloto DMAIC y finalice con la estandarización de prácticas exitosas a nivel corporativo. Este proceso debe priorizar proyectos según su impacto económico y nivel de esfuerzo, garantizando que los primeros resultados generen aprendizaje y recursos para la expansión del modelo.

Es fundamental asegurar la calidad y disponibilidad de datos, mediante la validación de los sistemas de medición y la integración de tableros digitales de monitoreo en tiempo real. La combinación de herramientas Lean (VSM, 5S, SMED, Kanban) y Six Sigma (Pareto, Ishikawa, DOE, SPC, Cp/Cpk) debe ajustarse a las necesidades específicas de cada proceso, maximizando el valor agregado. La adopción de tecnologías habilitadoras como IoT, RPA, Business Intelligence y Machine Learning permite consolidar un enfoque predictivo, donde la información se convierte en un recurso estratégico para la toma de decisiones proactiva.

Desde la perspectiva estratégica y financiera, es esencial vincular los resultados operativos con indicadores económicos, midiendo ahorros, costos evitados, ingresos adicionales y el retorno de inversión de cada proyecto. Asimismo, se recomienda destinar parte de los beneficios a capacitación y digitalización progresiva, fortaleciendo la cultura de mejora continua y asegurando la sostenibilidad del sistema. Finalmente, el LSS 4.0 debe orientarse no solo a la productividad, sino también a la responsabilidad ambiental, la ética y el bienestar humano, consolidándose como un modelo integral que impulse la transformación hacia una Industria 5.0 más inteligente, sostenible y centrada en las personas.

10. GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

Acronímico	Descripción
LSS	Lean Six Sigma
5S	Metodología japonesa de organización y orden en el lugar de trabajo
BI	Inteligencia de Negocios
Cp / Cpk	Índices de capacidad del proceso
SPC	Control Estadístico de Procesos
DOE	Diseño de Experimentos
CPS	Sistemas Ciberfísicos
CRM	Gestión de Relaciones con Clientes
DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar
DPMO	Defectos por Millón de Oportunidades
FPY	Rendimiento de Primera Pasada
IA	Inteligencia Artificial
IoT	Internet de las Cosas
JIT	Justo a Tiempo
KPI	Indicador Clave de Desempeño
TPS	Sistema de Producción Toyota
VSM	Mapa de Flujo de Valor
RPA	Automatización Robótica de Procesos

11. BIBLIOGRAFÍA

- Heredía Jerez, R. (2019). Ecosistemas digitales: La revolución de todas las industrias. Santiago de Chile: Digital Bank Latam.
- Antony, J. (2019). Lean Six Sigma para las industrias manufactureras y de servicios. Boca Ratón, Estados Unidos: CRC Press.
- Bosch Group. (2020). Informe anual 2020: Industria conectada y manufactura inteligente. Stuttgart, Alemania: Robert Bosch GmbH.
- Felizola, F., & Luna, J. (2021). Lean Six Sigma en pequeñas y medianas em-

- presas: un enfoque metodológico. *Revista Chilena de Ingeniería*, 29(2), 112–125.
- George, M. L., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *Manual de bolsillo Lean Six Sigma: Guía rápida de 100 herramientas para mejorar la calidad y la velocidad*. Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill Education.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Principios de diseño para escenarios de la Industria 4.0: Revisión de la literatura. En 49ª Conferencia Internacional de Hawái sobre Ciencias del Sistema (HICSS) (pp. 3928–3937). Koloa, Hawái: IEEE.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recomendaciones para implementar la iniciativa estratégica Industria 4.0: Informe final del Grupo de Trabajo de Industria 4.0*. Frankfurt, Alemania: Acatech – Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Dhone, N. C. (2020). Industria 4.0 y prácticas de manufactura Lean para el desempeño organizacional sostenible en empresas manufactureras de la India. *Revista Internacional de Economía de la Producción*, 231, 107849.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). Arquitectura de sistemas ciberfísicos para sistemas de manufactura basados en Industria 4.0. *Cartas de Manufactura*, 3, 18–23.
- Liker, J. K. (2004). *El método Toyota: 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo*. Nueva York, Estados Unidos: McGraw-Hill Education.
- McKinsey & Company. (2023). *La transformación Lean digital: Cómo las tecnologías de la Industria 4.0 aceleran la excelencia operativa*. Nueva York, Estados Unidos: McKinsey & Company. Recuperado de <https://www.mckinsey.com>
- Montgomery, D. C. (2020). *Introducción al control estadístico de la calidad* (8.ª ed.). Hoboken, Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Ohno, T. (1988). *El sistema de producción Toyota: Más allá de la producción en masa*. Nueva York, Estados Unidos: Productivity Press.
- Siemens AG. (2021). *Industrias Digitales: Informe de sostenibilidad y desempeño anual 2021*. Amberg, Alemania: Siemens AG. Recuperado de <https://www.siemens.com/global/es.html>
- Toyota Global. (2022). *Sistema de Producción Toyota y transformación digital: In-*

forme 2022. Tokio, Japón: Toyota Motor Corporation. Recuperado de <https://global.toyota/en>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). Pensamiento Lean: Eliminar desperdicios y crear valor en tu empresa. Nueva York, Estados Unidos: Simon & Schuster



Carrera de Ingeniería Industrial 86 Años

**Facultad de Ingeniería
Universidad Mayor de San Andrés**

**UMSA
UNIVERSIDAD DEL BICENTENARIO**



CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS