

## Integración de metodologías Lean Six Sigma y herramientas de análisis de datos en tiempo real para mejorar la calidad en procesos de manufactura

Optimization of industrial processes through artificial intelligence systems: an approach based on deep learning

**Gary Fabricio Soriano Morales**

<https://orcid.org/0009-0005-0085-983X>

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

### RESUMEN

En un entorno global cada vez más competitivo y caracterizado por la constante evolución tecnológica, las industrias manufactureras enfrentan desafíos relacionados con la calidad, eficiencia y sostenibilidad, es por ello que el presente trabajo tiene como objetivo analizar el marco de referencia que integra las metodologías Lean Six Sigma con herramientas de análisis de datos en tiempo real, dicho objetivo unido a la metodología diseñada permite mostrar como resultados que la sinergia entre los datos en tiempo real y la metodología asegura que las metas de calidad no solo sean claras, sino también alcanzables y sostenibles, incluso en contextos industriales dinámicos y complejos, también se muestra que el vínculo de diferentes variables al proceso productivo permite un monitoreo detallado y continuo de parámetros críticos, el trabajo también evidencia que en aquellos escenarios industriales donde existe desperfectos inesperados estos generan como resultado periodos de inactividad costosos, pérdidas en la producción y riesgos para la seguridad. La perspectiva proactiva no solo da respuestas a problemas existentes, sino que también advierte su recurrencia al implementar controles más sofisticados, por lo que implementación de un sistema de vigilancia operativa en tiempo real se convierte en un elemento importante para asegurar que los procesos industriales siempre estén en los límites previamente implementados, promocionando estabilidad y calidad. Se concluye que la integración de Lean Six Sigma y herramientas de análisis en tiempo real no solo proporcionan un camino para optimizar procesos y mantener la competitividad en un mercado global, sino que también plantea un cambio de paradigma hacia sistemas de manufactura más ágiles.

**Palabras claves:** Integración, Metodologías, LEAN SIX SIGMA, Industria y Manufactura.

### ABSTRACT

In an increasingly competitive global environment characterized by constant technological evolution, manufacturing industries face challenges related to quality, efficiency and sustainability, which is why the present work aims to analyze the reference framework that integrates Lean Six Sigma methodologies with real-time data analysis tools. This objective, together with the designed methodology, allows us to show as results that the synergy between real-time data and the methodology ensures that quality goals are not only clear, but also achievable and sustainable, even in dynamic and complex industrial contexts. It also shows that the link between different variables and the production process allows for detailed and continuous monitoring of critical parameters. The work also shows that in those industrial scenarios where there are unexpected malfunctions, these result in costly downtime periods, production losses and safety risks. The proactive perspective not only provides answers to existing problems, but also warns of their recurrence by implementing more sophisticated controls, so the implementation of a real-time operational monitoring system becomes an important element to ensure that industrial processes are always within the previously implemented limits, promoting stability and quality. It is concluded that the integration of Lean Six Sigma and real-time analysis tools not only provides a way to optimize processes and maintain competitiveness in a global market, but also poses a paradigm shift towards more agile manufacturing systems.

**Keywords:** Integration, Methodologies, LEAN SIX SIGMA, Industry and Manufacturing.

### INTRODUCCIÓN

Décadas de trabajo y transformaciones de avances en la mejora continua y la transformación digital en la manufactura han permitido la evolución a pasos agigantados de Lean Six Sigma y el análisis de datos en tiempo real, Lean Manufacturing nacido del Sistema de Producción de Toyota en los años 50, se centró en eliminar desperdicios y maximizar la eficiencia, luego Six Sigma emergió en los años 80 en Motorola, destacándose por su enfoque estadístico para reducir la variabilidad en los procesos, su integración en los años 2000 combinó la agilidad de Lean con el rigor analítico de Six Sigma, consolidándose como una metodología clave en la mejora de procesos industriales.

Paralelamente, el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis predictivo han revolucionado la manufactura al permitir la recolección y procesamiento de datos en tiempo real, optimizando la detección temprana de fallos y el mantenimiento predictivo, el presente artículo se sitúa en la convergencia de estos paradigmas, proponiendo un marco para combinar Lean Six Sigma con estas herramientas tecnológicas, fortaleciendo la capacidad de las empresas para mejorar la calidad y reducir desperdicios en sus líneas de producción. En un entorno global cada vez más competitivo y caracterizado por la constante evolución tecnológica, las industrias manufactureras enfrentan desafíos relacionados con la calidad, eficiencia y sostenibilidad, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) reporta que la manufactura representa aproximadamente el 16 por ciento del Producto Interno Bruto mundial, empleando a más de 463 millones de personas en todo el mundo. Sin embargo, el desperdicio y las ineficiencias en los procesos de producción contribuyen significativamente a costos adicionales, pérdida de competitividad y un impacto ambiental considerable, especialmente en

términos de emisiones de carbono y desechos materiales (UNIDO, 2023).

Desde la perspectiva latinoamericana, a pesar del déficit en cuanto a la integración de contenidos de tecnología desde la formación de profesionales para el mercado (Baltodano Enríquez, 2022) la tendencia es que las empresas están adoptando metodologías como Lean Manufacturing y Six Sigma, reconocidas por su capacidad para reducir desperdicios y optimizar procesos. Según un estudio del Instituto Americano de Calidad (ASQ, 2022), la implementación de Six Sigma ha permitido a las empresas reducir defectos en un 50 por ciento en promedio, mientras que Lean ha generado aumentos en la productividad del 25 por ciento.

No obstante, la creciente complejidad de los procesos industriales y el auge de tecnologías disruptivas, como el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de datos en tiempo real, abren nuevas posibilidades para integrar herramientas analíticas avanzadas que permitan una gestión más precisa y proactiva de la calidad. En Ecuador, las líneas de producción actuales enfrentan desafíos específicos como la variabilidad en los insumos, fallos en el equipamiento y defectos impredecibles que impactan directamente en la satisfacción del cliente y los márgenes de ganancia, la falta de detección temprana de defectos en tiempo real puede resultar en un aumento del retrabajo, desperdicio de materiales y pérdida de oportunidades comerciales. Por ejemplo, según McKinsey & Company (2022), el tiempo promedio para identificar y corregir un defecto en las líneas de manufactura tradicionales puede superar las 48 horas, lo que representa una pérdida de productividad significativa.

En este contexto, el objetivo de esta investigación es analizar el marco de referencia que integra las metodologías Lean Six Sigma con herramientas de análisis de datos en tiempo real, el alcance del presente estudio incluye el análisis conceptual y práctico de dicha integración, con énfasis en sectores de manufactura avanzada como automotriz, electrónica y alimentos, donde la presión por mantener altos estándares de calidad es particularmente intensa, de igual manera, se evalúa el impacto potencial de estas herramientas en términos de reducción de costos, mejora en la eficiencia y sostenibilidad de las operaciones.

## MÉTODOS

Para el cumplimiento del objetivo planteado se realizó una revisión bibliográfica mediante la cual se resumió, examinó, compendió y discutió toda la información divulgada en cuanto a integración de metodologías Lean Six Sigma y herramientas de análisis de datos en tiempo real, la que finalizó en un examen crítico del estado del arte obtenidos en la bibliografía, el método que se empleó fue la revisión documental, mediante el cual se identificaron el tratamiento de los hallazgos en la literatura con anterioridad, sus autores y los debates creados al respecto. El sustento teórico para el tratamiento del problema planteado lo podemos estudiar desde diferentes posiciones:

### Teoría de las restricciones (TOC):

La teoría de las restricciones, propuesta por Eliyahu Goldratt, sostiene que en cualquier sistema están presente las limitantes o "cuellos de botella" que se constituyen en barreras para su desempeño a nivel mundial, en el sector manufacturero, esta teoría asume mayor relevancia ya que permite identificar y gestionar estas limitaciones para incrementar la eficacia del sistema, la articulación de Lean Six Sigma con las herramientas de análisis de datos en tiempo real favorece la identificación transparente y más precisa de estas restricciones, generando la resolución de problemas mediante el empleo de datos predictivos y la eliminación de desperdicios. según Goldratt (1984), la perspectiva de las restricciones favorece el incremento de la productividad al liberar recursos que anticipadamente habían sido desaprovechados.

### Teoría de la gestión de la calidad total (TQM)

La gestión de la calidad total, planteada por Deming y Juran, se basa en el compromiso organizacional con la mejora continua, la satisfacción del cliente y la reducción de variabilidad en los procesos, Lean Six Sigma tiene sus raíces en esta teoría al combinar principios de eficiencia y reducción de defectos, la integración con tecnologías de análisis de datos en tiempo real fortalece este enfoque, proporcionando a los equipos de manufactura herramientas para monitorear y ajustar continuamente los procesos. Como indica Juran (1992), la incorporación de datos relevantes en tiempo real fomenta una toma de decisiones más informada y oportuna, mejorando la calidad del producto final.

### Teoría de sistemas ciberfísicos (CPS):

La teoría de los sistemas ciberfísicos aborda la interacción entre el mundo físico y digital mediante tecnologías como IoT, sensores inteligentes y redes de comunicación, según Lee et al. (2015), los CPS permiten monitorear, analizar y controlar procesos en tiempo real, generando un ecosistema en el que los datos y las máquinas trabajan en conjunto para mejorar el desempeño del sistema. En el marco del artículo, la integración de herramientas como IoT con Lean Six Sigma está alineada con esta teoría al utilizar sistemas ciberfísicos para detectar y corregir defectos de manera proactiva, optimizando la calidad del proceso productivo.

Teoría de la ventaja competitiva basada en recursos (RBV):

La teoría de la ventaja competitiva basada en recursos, de Barney (1991), destaca que los recursos internos de una organización, como son las capacidades tecnológicas y metodologías innovadoras, son esenciales para mantener una ventaja competitiva, al articular Lean Six Sigma con análisis de datos en tiempo real, las empresas ponen en práctica capacidades únicas que buscan la eficiencia, disminuyen los desperdicios e incrementan la calidad y aceptabilidad de sus productos, mejorando su posición y estabilidad en el mercado, dicha articulación no solo genera valor a lo interno de la organización sino que también fortalece su resiliencia competitiva a nivel mundial.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Una breve revisión del estado del arte

El estudio de Negrón (2023) desarrollado en la Pontificia Universidad Católica del Perú y denominado, El Six Sigma en la era del big data y el machine learning, estudia cómo los instrumentos modernos como el aprendizaje automático se integra en las etapas del ciclo DMAIC de Six Sigma, proponiendo novedosas perspectivas para el oportuno aprovechamiento de grandiosos volúmenes de datos a través de algoritmos controlados y no controlados, generando los necesarios cambios culturales en las empresas hacia un enfoque analítico apoyado en datos.

En la investigación de Marín et. al (2023) titulada, Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno, desarrollaron un diseño de experimentos que estableció un nuevo estándar para disminuir el principal defecto presentado en el producto, logrando obtener un modelo matemático capaz de predecir respuestas a nuevas observaciones en un 90.45 por ciento, luego de tres meses de observación se obtuvo una reducción de 66 por ciento de los Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO), lo que confirmó la efectividad de la metodología y la magnitud de sus beneficios.

El trabajo titulado, Metodología Lean Six Sigma aplicable a una fábrica automotriz, sostiene que aplicar las herramientas de la metodología Lean Six Sigma en el plan de mantenimiento de una fábrica automotriz para hacerlo más efectivo, genera aumento de tiempo promedio para fallar en un equipo de producción automático y disminuir el tiempo promedio de reparación de cada falla (Cuamea & Lopez, 2016)

El estudio denominado, Aplicación de Lean Six Sigma para la mejora del proceso de trabajos de grado en una Institución de Educación Superior, muestra a partir de la aplicación de esta metodología, se logró diagnosticar el estado actual del proceso, así mismo, identificar las necesidades de los interesados, se propuso un plan de acción que permita el mejoramiento continuo del proceso alineado a brindar calidad, efectividad y servicio al proceso, a partir de la aplicación de estas estrategias se espera reducir el lead time del proceso hasta un 54 por ciento aumentando el indicador de Valor Agregado de 8 a 17 por ciento e incrementado el índice First Pass Yield hasta un 40 por ciento (Rodríguez, at. al, 2023)

En la investigación de Reyes (2002), titulada Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones, muestra que algunas empresas medianas y grandes impulsadas por sus corporaciones en el extranjero también han empezado a retomar algunos de los métodos que empresas de alta tecnología, como Motorola y General Electric de Estados Unidos de América, han estado aplicando desde la década de los años 1980 y que han denominado Seis Sigma

### **Integración de Metodologías Lean Six Sigma y Herramientas de Análisis de Datos en Tiempo Real para Mejorar la Calidad en Procesos de Manufactura.**

En tiempos en que la globalización y la competencia industrial generada por la adopción de metodologías innovadoras buscan perfeccionar la calidad y la eficacia en los procesos de manufactura, Lean Six Sigma (LSS), emerge como una metodología en pro de la mejora continua y la reducción de defectos, demostrando su efectividad en diversos sectores, no obstante, el desarrollo tecnológico, el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de datos en tiempo real, están cambiando la forma en que se ponen en prácticas estas metodologías, la integración de LSS con herramientas de análisis en tiempo real ofrece la oportunidad de abordar problemas con una precisión y proactividad sin precedentes, logrando optimizar los procesos de manufactura, reducir desperdicios y elevar los estándares de calidad.

La metodología Lean Six Sigma, combina los principios de Lean Manufacturing, centrados en la eliminación de desperdicios, y Six Sigma, enfocado en la reducción de la variabilidad de los procesos mediante el uso del ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), autores como Vidal et al., (2018) y Celis & García (2012) coinciden en que DMAC es la metodología de procesos usado por seis sigma, y es un método que sigue un formato estructurado y disciplinado basado en el planteamiento de una hipótesis la realización de experimentos y su subsecuente evaluación para confirmar o rechazar la hipótesis previamente planteada.

Por su parte, el análisis de datos en tiempo real Incluye el uso de IoT, sensores, algoritmos de aprendizaje automático y análisis predictivo para recopilar y procesar grandes volúmenes de datos de manera instantánea, permitiendo decisiones más informadas y rápidas, según Zendesk, (2024) el análisis de datos en tiempo real es una práctica basada en algoritmos y modelos analíticos que captura datos y los procesa instantáneamente para detectar patrones, tendencias y anomalías, en atención al cliente, la expectativa es que las empresas anticipen y solucionen los problemas antes de que los clientes los experimenten. La fusión de estas áreas crea un ecosistema de manufactura inteligente, donde las decisiones no solo se basan en datos históricos, sino también en predicciones y monitoreo constante, dicha integración se logra mediante la ejecución y puesta en práctica de varias etapas, como son:

#### Etapa 1. Definir objetivos y métricas clave:

En esta etapa, se define la base que permite mejorar el proceso a través del cual se identifican los parámetros críticos para la calidad (CTQ, por sus siglas en inglés) y la definición de métricas que valoran el trabajo del sistema, los CTQ son importantes en las organizaciones ya que dan cuenta de las características del producto o servicio que más evalúan los clientes finales, siendo esenciales para asegurar su satisfacción.

El uso de know-how como el IoT incrementa de manera significativa las capacidades normales de definición de métricas, mediante sensores y equipos conectados, IoT recopila datos en tiempo real desde varias fases del proceso, creando un flujo permanente de información que hace desaparecer la dependencia de evaluaciones reiteradas y perfecciona la sensibilidad a transformaciones sutiles en el escenario productivo. Por ejemplo, en lugar de efectuar revisiones habituales, el IoT puede aportar mediciones permanentes sobre diferentes variables como temperatura, presión, o velocidad, certificando que se conserven dentro de los términos admisibles, estos datos no solo permiten establecer límites de control estadístico dinámico, adaptable a las condiciones operativas actuales, sino también detectar desviaciones en etapas tempranas, reduciendo la variabilidad y anticipando posibles fallos.

La integración del IoT en esta etapa también permite la toma de decisiones basada en evidencia, ya que articula datos históricos y en tiempo real, fortaleciendo el análisis y perfeccionando la exactitud de las estrategias Lean Six Sigma, por tanto esta unión entre los datos en tiempo real y la metodología asegura que los objetivos de calidad no solo sean lo suficientemente claros, sino que también sean posibles y razonables, incluso en escenarios industriales eficientes y complicados.

#### Etapa 2. Medir:

Al incorporar sensores IoT cambia sustancialmente la orientación habitual de recolección de datos en el proceso industrial, alcanzando una radiografía exacta y en tiempo real de la temperatura, velocidad, presión y niveles de vibración, esta articulación perfecciona la calidad del monitoreo al aportar datos constantes y pormenorizados desde diversas etapas del sistema, aboliendo las complicaciones vinculadas a las mediciones. Una vez recopilados, estos datos son procesados mediante herramientas de análisis estadísticos, como histogramas, gráficos de control y algoritmos predictivos, para identificar patrones, tendencias y posibles desviaciones. Los resultados son visualizados en dashboards interactivos, lo que ofrece a los operadores y gerentes una representación clara y en tiempo real del estado del proceso. Esto no solo mejora la capacidad de respuesta ante eventos anómalos, sino que también permite un monitoreo integral y la toma de decisiones basadas en evidencia, por ejemplo, si un sensor detecta un aumento gradual en la temperatura de un componente crítico, el sistema puede emitir una alerta antes de que ocurra un fallo, reduciendo así los tiempos de inactividad y los costos asociados.

Además, la visualización dinámica de estos datos promueve la transparencia y permite el apoyo entre equipos, uniendo a todos los niveles de la empresa en una dirección centrada en la mejora constante, por lo que, esta etapa fortalece la base para un control de calidad eficiente y sostenible, incrementando las capacidades de las herramientas Lean Six Sigma en un escenario de manufactura digital.

**Tabla 1.** Simulación de Métricas Capturadas por Sensores IoT

Parámetro	Unidad de Medida	Sensor Utilizado	Frecuencia de Muestreo
Temperatura	Grados Celsius	Termómetro infrarrojo	Cada 10 segundos
Presión del sistema	PSI	Transductor de presión	Cada 5 segundos
Velocidad de línea	m/s	Tacómetro óptico	Cada 15 segundos

**Elaborado por:** Gary Fabricio Soriano Morales, 2024

Como se observa en la tabla anterior, el vínculo de diferentes variables al proceso productivo permite un monitoreo detallado y continuo de parámetros críticos, cada sensor está optimizado para capturar datos específicos con una frecuencia de muestreo diseñada para reflejar la dinámica del proceso en cuestión, en cuanto a la frecuencia adaptada a la dinámica del proceso se puede observar que cada parámetro tiene una frecuencia de muestreo calibrada a la sensibilidad y criticidad del

sistema en cuestión, maximizando la utilidad de los datos sin sobrecargar los sistemas de procesamiento. Por su parte, la optimización del monitoreo muestra la elección de sensores específicos asegurando mediciones confiables y no intrusivas, alineándose con los principios de Lean Six Sigma para minimizar la variabilidad y garantizar la calidad, sin embargo la capacidad de respuesta muestra los datos en tiempo real permiten anticipar problemas potenciales, mejorando la capacidad de respuesta operativa y reduciendo tiempos de inactividad. Estos elementos refuerzan el impacto positivo del uso de sensores IoT en sistemas de manufactura inteligentes, garantizando que los procesos sean más estables, eficientes y resilientes frente a variaciones internas o externas.

#### Etapa 3. Analizar:

Su enfoque se centra en el uso de herramientas avanzadas de análisis predictivo para transformar los datos recopilados en conocimiento accionable, esta etapa es crucial porque permite no solo comprender lo que está ocurriendo en el sistema, sino también anticipar posibles eventos futuros, a través de algoritmos de aprendizaje automático (machine learning), como redes neuronales y modelos de regresión, se pueden detectar patrones ocultos en los datos históricos y en tiempo real que indicarían, por ejemplo, un desgaste progresivo en componentes mecánicos o fluctuaciones anómalas en parámetros operativos.

Lo que resulta significativamente importante en escenarios industriales donde los desperfectos inesperados generan como resultado periodos de inactividad costosos, pérdidas en la producción y riesgos para la seguridad, la predicción de fallos enfocada en propensiones y correlaciones, favorece a las organizaciones la implementación de planes de mantenimiento preventivo o incluso predictivo, lo que permite la optimización del uso de recursos y disminuir interrupciones. Además, estas herramientas fortalecen la capacidad del sistema Lean Six Sigma para identificar causas raíz y eliminar variabilidad en los procesos. Por ejemplo, si un análisis detecta que la temperatura de una máquina tiende a subir bajo ciertas condiciones de operación, se pueden ajustar parámetros o planificar intervenciones antes de que ocurra una parada inesperada, en conjunto, el análisis predictivo no solo mejora la calidad y estabilidad del sistema, sino que también promueve un enfoque proactivo en la gestión operativa, alineándose con los principios de mejora continua que caracterizan a Lean Six Sigma.

#### Etapa 4. Mejorar:

El foco principal es traducir los hallazgos del análisis en acciones concretas que optimicen el desempeño del proceso, esta etapa se fundamenta en la capacidad de identificar y abordar las causas raíz de la variabilidad y los cuellos de botella, que son los principales impedimentos para lograr una producción eficiente y de alta calidad, por ejemplo si el análisis predictivo revela que una desviación de presión en un equipo genera defectos recurrentes, se pueden ajustar los parámetros de operación de manera precisa para mantener los valores dentro de los límites controlados.

La perspectiva proactiva no solo da respuestas a problemas existentes, sino que también advierte su recurrencia al implementar controles más sofisticados, además, la puesta en práctica de mejoras permite incluir en los planes predictivos la actualización de tecnologías, el rediseño de procesos, la capacitación del personal o modificaciones en la cadena de suministro para mejorar la sincronización entre etapas. La reducción de la variabilidad es un principio fundamental de Six Sigma, ya que permite mantener un desempeño constante y predecible en el proceso, por otro lado, la eliminación de cuellos de botella, un objetivo central del enfoque Lean, incrementa la capacidad total del sistema al permitir un flujo continuo de materiales y productos, estas acciones tienen beneficios cuantificables, como la disminución de tiempos de ciclo, el incremento en la tasa de producción y la reducción de costos asociados a reprocesos o desperdicios.

#### Etapa 5. Controlar:

Implementación de un sistema de vigilancia operativa en tiempo real se convierte en un elemento importante para asegurar que los procesos industriales siempre estén en los límites previamente implementados, promocionando estabilidad y calidad, este enfoque se basa en la capacidad de monitorear continuamente parámetros críticos mediante sensores y sistemas de análisis en línea, que alimentan dashboards automatizados diseñados para proporcionar visualizaciones claras y dinámicas de las condiciones operativas actuales, los dashboards en tiempo real permiten detectar desviaciones de manera inmediata, lo que facilita una respuesta oportuna y efectiva antes de que las anomalías se conviertan en problemas significativos, como defectos en el producto final o paradas no planificadas en la producción.

Por ejemplo, en un proceso de manufactura, si los sensores detectan que la temperatura de una maquinaria empieza a excederse del rango normalmente aceptado, el sistema genera una alarma visual y sonora en el dashboard, hecho que no solo incrementa la sensibilidad del sistema a incertidumbres, sino que también perfecciona la eficacia al disminuir los tiempos de reacción, además los controles automatizados disminuyen la necesidad de inspección a mano de manera constante, lo que hace que se necesite menos fuerza de trabajo en actividades de mayor valor agregado.

Este enfoque se ajusta con los principios de Lean Six Sigma al disminuir la inestabilidad y los desperdicios vinculados a procesos fuera de especificación, también contribuye a un entorno de mejora continua, ya que los datos recopilados en

tiempo real pueden analizarse para identificar tendencias a largo plazo y realizar ajustes estratégicos en los procesos, en resumen, los controles en tiempo real no solo aseguran la conformidad operativa inmediata, sino que también fortalecen la capacidad de una organización para adaptarse y mantener estándares de excelencia en un entorno competitivo y dinámico.

**Tabla 2.** Comparación entre Controles Tradicionales y en Tiempo Real

Característica	Control Tradicional	Control en Tiempo Real
Frecuencia de monitoreo	Periódica	Constante
Tiempo de respuesta	Horas o días	Minutos o segundos
Identificación de fallos	Posterior al defecto	Proactiva y predictiva
Costos asociados a fallos	Altos	Reducidos

**Elaborado por:** Gary Fabricio Soriano Morales, 2024

La tabla anterior evidencia las marcadas diferencias entre los enfoques de control tradicional y control en tiempo real, destacando las ventajas significativas del último en términos de eficiencia y costo-beneficio dentro de procesos industriales, en términos de frecuencia de monitoreo (Periódica vs. Constante) en el control tradicional, las evaluaciones se realizan en intervalos predefinidos, lo que puede generar periodos de inactividad en el monitoreo y riesgos de no detectar anomalías a tiempo, sin embargo el control en tiempo real (por el contrario) emplea tecnologías como sensores IoT y sistemas de procesamiento continuo que proporcionan datos de manera ininterrumpida, garantizando un seguimiento constante de las operaciones y reduciendo la probabilidad de fallos imprevistos. La capacidad de reacción en el control tradicional es limitada por la periodicidad del monitoreo y los tiempos necesarios para analizar datos manualmente, en cambio el control en tiempo real permite actuar casi de inmediato, gracias a dashboards automatizados y sistemas de alertas que detectan desviaciones en cuestión de segundos, lo que resulta crucial para evitar que problemas menores evolucionen en fallos graves o interrupciones prolongadas.

En cuanto a la identificación de fallos (Posterior al defecto vs. Proactiva y predictiva) en el control tradicional, los fallos generalmente se identifican después de que han ocurrido, lo que puede generar costos significativos debido a la necesidad de reprocesos o la pérdida de productos defectuosos, el control en tiempo real, respaldado por herramientas de análisis predictivo y aprendizaje automático, permite anticipar fallos antes de que ocurran, lo que fortalece la prevención y aumenta la confiabilidad del sistema.

Dada la capacidad de reacción de los costos vinculados a desperfectos (Altos vs. Reducidos), el control habitual involucra costos excesivos por paralizaciones imprevistas, daños a equipos y pérdida de tiempo, el control en tiempo real disminuye estos costos al minimizar las paralizaciones, optimizar el empleo de recursos y mantener los procesos dentro de medidas establecidas, ajustándose con los principios de Lean Six Sigma para incrementar la eficiencia y la calidad. Los elementos antes señalados, muestran que el control en tiempo real no solo perfecciona de manera significativa el resultado de los procesos industriales, sino que también aporta un marco más sofisticado y rápido para la toma de decisiones industriales, esta migración hacia un monitoreo permanente y proactivo significa un cambio de paradigma hacia la manufactura inteligente y sustentable, colocando en el liderazgo a aquellas empresas que lo adoptan.

El impacto de dicha integración, está dado en que la incorporación de herramientas de análisis en tiempo real en procesos de Lean Six Sigma (LSS) transforma la manera en que las organizaciones manejan la calidad y la productividad, dicha integración permite un monitoreo continuo y detallado de los procesos, lo que no solo facilita la detección de defectos en sus etapas iniciales, sino que también mejora la eficiencia operativa. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO, 2023), empresas que han adoptado enfoques de manufactura inteligente, incluyendo análisis en tiempo real, han logrado reducir los defectos hasta en un 30 por ciento, mientras que su eficiencia operativa ha aumentado en un 20 por ciento, este avance se debe a que las herramientas como el análisis predictivo y el IoT identifican patrones y posibles fallos antes de que afecten significativamente el proceso, permitiendo una intervención preventiva en lugar de reactiva.

Los beneficios directos en calidad y productividad, este enfoque tiene un impacto significativo en la sostenibilidad, ya que la capacidad de minimizar desperdicios y optimizar recursos se alinea con los principios de economía circular, promoviendo procesos más respetuosos con el medio ambiente, por ejemplo, al detectar desviaciones en tiempo real, las empresas pueden reducir el consumo innecesario de materias primas, disminuir la generación de productos no conformes y optimizar el uso de energía. Esta ponderación entre producción y sostenibilidad cada día asume mayor relevancia ya que se desempeña en un escenario global en el que la eficiencia operativa y la responsabilidad ambiental son concluyentes para la competitividad de las empresas, por lo que integrar herramientas de análisis en tiempo real en el marco de LSS constituye un paso imprescindible hacia procesos de fabricación más inteligentes, rápidos y verosímiles.

## CONCLUSIONES

La integración de Lean Six Sigma (LSS) con herramientas de análisis de datos en tiempo real representa una solución innovadora y efectiva para abordar los desafíos de la industria moderna, este enfoque combina los principios de mejora continua de LSS con tecnologías emergentes, como el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis predictivo, lo que permite a las empresas mejorar la calidad de los procesos, reducir desperdicios y optimizar recursos de manera significativa, en un contexto global caracterizado por la alta competitividad y la necesidad de sostenibilidad, esta combinación se erige como una herramienta clave para que las organizaciones se adapten a las demandas de flexibilidad y precisión. El estudio destaca que las tecnologías de análisis en tiempo real aportan un valor añadido al permitir la detección proactiva de defectos y la implementación de soluciones inmediatas, garantizando la estabilidad del proceso, sin embargo, la implementación exitosa de esta integración requiere un enfoque estratégico, que incluye la inversión en infraestructura tecnológica y capacitación especializada para el personal, aunque estos esfuerzos iniciales pueden representar un reto financiero y organizacional, los beneficios a largo plazo, como la mayor eficiencia operativa, la reducción de costos y la mejora en la sostenibilidad, justifican ampliamente estos recursos.

Este trabajo se desarrolló en el marco de un análisis conceptual y exploratorio, limitándose a la propuesta de un marco teórico sin indagar en aquellos casos prácticos o experimentales, adicionalmente, emergieron limitaciones en el acceso a datos reales derivados de industrias que ya utilizan esta combinación de metodologías y tecnologías, lo que limita la posibilidad de aceptar desde la práctica aquellos beneficios proyectados, otra limitación fue la ausencia de un enfoque profundo en tramos determinados del proceso industrial, dado que los retos y las oportunidades pueden cambiar significativamente entre diferentes industrias.

El presente estudio constituye base y a la vez se convierte en líneas de investigación para futuras investigaciones, primeramente es esencial desarrollar estudios experimentales y casos de aplicación real que permitan validar el marco teórico propuesto en este artículo, además se recomienda explorar el impacto de esta integración en industrias específicas, como la automotriz, electrónica o farmacéutica, donde las exigencias de calidad y eficiencia son especialmente críticas. También será relevante investigar las implicaciones económicas y sociales de esta integración, incluyendo cómo las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) pueden acceder a estas tecnologías de manera rentable, la creación de estrategias de financiamiento y modelos colaborativos podría ser una vía para garantizar que los beneficios de esta propuesta lleguen a todos los niveles de la industria. La integración de Lean Six Sigma y herramientas de análisis en tiempo real no solo proporcionan un camino para optimizar procesos y mantener la competitividad en un mercado global, sino que también plantea un cambio de paradigma hacia sistemas de manufactura más ágiles, inteligentes y sostenibles, sin embargo, se requiere un esfuerzo colectivo entre academia, industria y gobierno para maximizar su potencial.

## REFERENCIAS

- Barney, J. B. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99-120.
- Celis, O. L. M., & García, J. M. S. (2012). Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma. *Estudios gerenciales*, 28(124), 23- 43. Recuperado de: [www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592312702140](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592312702140)
- Cuamea, G & Lopez, R (2016) Metodología Lean Six Sigma aplicable a una fábrica automotriz. IX Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias. Porto Alegre, Brasil. Recuperado de: [https://www.irsitio.com/refbase/documentos/254\\_CuameaCruz+LopezBlancas2016.pdf](https://www.irsitio.com/refbase/documentos/254_CuameaCruz+LopezBlancas2016.pdf)
- Enríquez, M. B. (2022). Integración de las tecnologías digitales en educación: factores de éxito y barreras. *Cadernos Latino-Americanos de Engenharia, Tecnologia e Ciências Aplicadas*, 7(1), 6-19. <https://doi.org/10.56183/cladotec.v1i1.630>
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT Press.
- Goldratt, E. M. (1984). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. North River Press.
- International Energy Agency (IEA). (2022). *Global energy and emissions trends in manufacturing*.
- Instituto Americano de Calidad (ASQ). (2022). *Impacto de Lean Six Sigma en las operaciones manufactureras*.
- Juran, J. M. (1992). *Juran on Quality by Design: The New Steps for Planning Quality into Goods and Services*. Free Press.
- Lee, E. A., & Seshia, S. A. (2015). *Introduction to Embedded Systems: A Cyber-Physical Systems Approach*. MIT Press.
- Marin V, Valenzuela, M, Cuamea, G y Brau, A. Aplicación de la metodología Lean Six Sigma para disminuir desperdicios en una unidad de fabricación de paneles modulares de poliestireno. *Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología* 24 (1), Ciudad México. Recuperado de: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-77432023000100007](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432023000100007)
- McKinsey & Company. (2022). *Manufacturing the future: The next era of global operations*.
- Negrón, L (2023) El Six Sigma en la era del big data y el machine learning. Instituto para la calidad de Perú, recuperado de: <https://calidad.pucp.edu.pe/espacio-de-calidad/el-six-sigma-en-la-era-del-big-data-y-el-machine-learning>
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO). (2023). *Informe anual de desarrollo industrial*. Recuperado de [www.unido.org](http://www.unido.org)
- Reyes, P. (2002) Manufactura Delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones. *Revista Contaduría y Administración*, núm. 205, pp. 51-69 Universidad Nacional Autónoma de México Distrito Federal, México. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/395/39520506.pdf>
- Rodríguez, M, Guerrero D, García, JC & Peña CC. (2023) Aplicación de Lean Six Sigma para la mejora del proceso de trabajos de grado en una Institución de Educación Superior. *Cientia et Technica* 28 (02). Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9086264.pdf>
- Statista. (2023). *Manufacturing's share of global GDP 2020-2023*. Recuperado de [www.statista.com](http://www.statista.com)
- Vidal, B. P., Soler, V. G., & Molina, A. I. P. (2018). Metodología Six Sigma. Comparación entre ciclo PDCA y DMAIC. In *Cuadernos de investigación aplicada* (pp. 27-34). 3ciencias.
- Zendesk, C. (2024). *Análisis de datos en tiempo real: qué es + 4 técnicas*. Recuperado de: [www.zendesk.com.mx/blog/analisis-de-datos-en-tiempo-real/](http://www.zendesk.com.mx/blog/analisis-de-datos-en-tiempo-real/)