



*Asesorías y Tutorías para la Investigación Científica en la Educación Puig-Salabarría S.C.
José María Pino Suárez 400-2 esq a Lerdo de Tejada. Toluca, Estado de México. 7223898473*

RFC: ATI120618V12

Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores.

<http://www.dilemascontemporaneoseduccionpoliticayvalores.com/>

Año: XIII Número: 1 Artículo no.:14 Período: 1 de septiembre al 31 de diciembre del 2025

TÍTULO: Impacto de la Enseñanza del Análisis del Sistema de Medición (MSA) y el Rol de la Educación Psicológica: Una Revisión Sistemática de la Literatura.

AUTORES:

1. Máster. Omar Celis-Gracia.
2. Dr. Jorge Luis García-Alcaraz.

RESUMEN: Este artículo discute el Análisis del Sistema de Medición (MSA) en la industria maquiladora, el impacto del entrenamiento en esta técnica y el factor psicológico en dicho análisis. Se aplica una metodología combinada que incluye una búsqueda estructurada de literatura. Los datos muestran que hay ocho componentes cruciales para el éxito en la implementación del MSA, incluyendo la capacitación como piedra angular, donde la educación psicológica promueve la mejora continua y la responsabilidad. Este estudio ayuda a comprender la motivación y el comportamiento organizacional, ayuda a las personas a ser más dedicadas, y acepta la responsabilidad de medir la calidad y descubrir las causas de la variación y el error. Finalmente, tres aplicaciones en diferentes industrias demuestran sus beneficios.

PALABRAS CLAVES: enseñanza, entrenamiento, medición, psicología, sistema.

TITLE: Impact of Teaching Measurement System Analysis (MSA) and the Role of Psychological Education: A Systematic Literature Review.

AUTHORS:

1. Master. Omar Celis-Gracia.
2. PhD. Jorge Luis García-Alcaraz.

ABSTRACT: This article discusses Measurement System Analysis (MSA) in the maquiladora industry, the impact of training in this technique, and the psychological factor in such analysis. A combined methodology is applied, including a structured literature search. The data show that there are eight crucial components for successful MSA implementation, including training as a cornerstone, where psychological education promotes continuous improvement and accountability. This study helps understand organizational motivation and behavior, helps people become more dedicated, and accepts the responsibility for measuring quality and uncovering the causes of variation and error. Finally, three applications in different industries demonstrate benefits.

KEY WORDS: education, training, measurement, psychological, system.

INTRODUCCIÓN.

La Importancia del Sector de Manufactura en México.

Uno de los pilares de la economía en México es el Sector Manufacturero, ya que parte de su desarrollo ha sido por el crecimiento de este sector en las últimas décadas (Farrukh et al., 2023). Las fortalezas que motivan a las empresas a invertir en México son la ubicación estratégica cercana a Estados Unidos, la mano de obra calificada y económica, y el Tratado con Estados Unidos y Canadá (T-MEC). México ha surgido como un país destacado en el sector manufacturero gracias a sus fortalezas en las últimas décadas (Khazode et al., 2023).

En el año 2024, el sector manufacturero de México contribuye con un 18% al PIB y es una importante fuente de empleo formal para millones de trabajadores en todo el país (Wassan et al., 2022). Los sectores principales son los siguientes: el automotriz, el aeroespacial, la electrónica, el textil y la fabricación de alimentos, posicionando al país como uno de los principales fabricantes de automóviles a nivel mundial y este sector es un motor de crecimiento económico nacional (Naeemah & Wong, 2022).

México cuenta con mano de obra capacitada y programas de formación profesional, fortaleciendo la capacitación y crecimiento de la fuerza laboral, con énfasis en operaciones de manufactura de alta tecnología. Adicionalmente, los centros de investigación trabajan con la academia y las empresas para implementar tecnologías industriales contemporáneas como la automatización y la robótica (Krstovski & Alwerfalli, 2022). El enfoque ha sido orientado principalmente a la manufactura a bajo costo, centrándose en la productividad y la eliminación de los desperdicios para añadir valor.

Las leyes proempresariales, las condiciones macroeconómicas estables y la capacidad de producción rentable en México han propiciado un aumento en la Inversión Extranjera Directa (IED). La IED ha facilitado la transferencia de conocimientos e integrado a las empresas mexicanas en cadenas de suministro internacionales, teniendo un impacto directo y positivo en la industria. Así, el sector manufacturero se ha vuelto más solicitado, logrando producir bienes que cumplen con estándares de calidad internacionales (Ansari, 2022).

El sector manufacturero ha aportado muchos beneficios al país; sin embargo, enfrenta desafíos como la necesidad de inversión en infraestructura, la fiabilidad energética y el desarrollo del personal, ya que preservar la competitividad a largo plazo es crucial en una economía global automatizada y digitalizada (Tsang et al., 2022). En conclusión, el sector manufacturero en México es esencial para el crecimiento económico del país al atraer inversiones, generar empleos y promover la integración en redes de comercio internacional. Durante la próxima década, México estará preparado para desempeñar un papel más significativo en la configuración del futuro económico a medida que las cadenas de suministro globales cambien y el comercio regional se vuelva más importante.

Mejora Continua en el Sector Manufacturero.

Las empresas de manufactura han adoptado enfoques de Mejora Continua (MC) para incrementar la productividad, la calidad y las entregas a tiempo, debido a retos como la globalización, los avances tecnológicos y los aspectos económicos como los aranceles impuestos por el gobierno de Estados Unidos

(Virmani & Salve, 2022). Algunos de los enfoques de MC son la Manufactura Esbelta (ME), Seis Sigma (SS), Lean Six Sigma (LSS), por mencionar algunos; sin embargo, estos enfoques implican un gran esfuerzo sistemático para mejorar los procesos día a día, minimizando los desperdicios y optimizando los recursos. Por ello, hoy en día la MC se ha vuelto indispensable para mantener la flexibilidad y la resiliencia ante los factores externos, siendo un enfoque primordial la calidad y los costos (Sánchez-Rebull et al., 2022).

Siempre hay algo que mejorar en los procesos, ya que no son perfectos y la MC se basa en la mejora gradual de éstos. Es importante mantener involucrado al personal de todos los niveles, especialmente a los empleados directamente relacionados con el proceso productivo, ya que tienen mayor conocimiento y creatividad en cuanto a la operación y sus posibles mejoras (Lim et al., 2022). El concepto japonés "Kaizen" es fundamental en MC y consiste en identificar el problema, formar un equipo y actuar rápidamente, realizando mejoras pequeñas que se traducen en mejoras significativas a lo largo del tiempo, garantizando que sean sistémicas (Jang & Kim, 2022).

La mejora en la calidad de los productos y la reducción de costos son ventajas clave de la MC en el sector maquiladora, enfocándose en la reducción de defectos, lo que tiene un impacto positivo en los porcentajes de retrabajos y desecho de materiales y productos terminados, permitiendo una reducción en el tiempo de entrega, productividad y costos de manufactura, lo que implica mayor satisfacción de los clientes (González-Cebrián et al., 2022). Por otro lado, la MC busca mejorar la eficiencia de las operaciones a través de la perfección de los flujos de materiales e información, la reducción de tiempos muertos y haciendo un uso óptimo de los recursos. Estas mejoras tienen un impacto directo y positivo en la flexibilidad de las empresas para ser resilientes a factores externos y hacer frente a las fluctuaciones en la demanda (Makwana & Patange, 2022).

Uno de los factores más importantes para que la MC tenga éxito es el compromiso de los empleados. Esto se logra permitiendo que los trabajadores participen en las lluvias de ideas, donde se exponen ideas de

mejoramiento orientadas a la mejora de los procesos, lo que permite una mayor satisfacción y cultura laboral, menor ausentismo, rotación y resistencia al cambio. Para ello se requiere un departamento sólido de capacitación para dotar las habilidades y conocimiento (González Ruiz et al., 2022).

La implementación de enfoques de MC presenta retos y dificultades, ya que debe existir un compromiso real y constante de los altos mandos, con comunicación clara de los objetivos y alineación con los procedimientos operativos (González Ruiz et al., 2022). Por otro lado, la resistencia al cambio por parte de los empleados, la escasez de recursos y la insuficiencia de datos pueden impedir el avance, por lo que es fundamental que las empresas proporcionen los medios económicos y talento humano, tener indicadores claves de desempeño, mecanismos de retroalimentación y un programa de reconocimiento, por mencionar algunos (Chen & Yu, 2022).

El Rol del Error de Medición en los Proyectos de Mejora Continua.

La confiabilidad de los programas de MC se ve disminuida por el error de medición, el cual puede ser muy grande debido a la falta de exactitud y precisión de los equipos, sumado al error humano. Esto puede llevar a tomar decisiones equivocadas, por lo que la medición es crucial en los procesos de manufactura para detectar variaciones y medir ineficiencias. Un error de medición no identificado puede llevar a conclusiones erróneas, aumentar los desperdicios y generar mejoras falsas (Shirodkar & Rane, 2021). La diferencia entre el valor real y el valor medido es el error de medición. Los errores pueden ser clasificados en sistemáticos, causados por un método incorrecto, y aleatorios, que surgen de condiciones atípicas. Los datos resultan sesgados debido a dos tipos de errores, lo que afecta el rendimiento del proceso (Varadi & Szilagyı, 2023).

Los enfoques de MC como Seis Sigma, y se basa principalmente en el análisis estadístico de los datos para reducir la variación de los procesos, por lo que la precisión de las mediciones es fundamental. El ciclo DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) destaca la importancia de la fase medir, en la

que la calidad de los datos es esencial, dado que si el sistema de medición tiene un alto porcentaje de error, cualquier análisis derivado de estos datos será erróneo (Kamble et al., 2020).

Para contrarrestar el error de la medición, la MC incorpora el análisis del sistema de medición (MSA), evaluando la repetibilidad, la reproducibilidad, el sesgo y la estabilidad. Una herramienta utilizada frecuentemente para datos continuos es el Gage R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad) y determina si la desviación de la medición es debida al proceso o al sistema de medición. Si el sistema de medición es deficiente, se debe mejorar o reemplazar (Saupi & Midi, 2021).

Para asegurar que las mejoras al proceso se basan en datos confiables, es crucial reducir el error de medición. Ambas situaciones afectan a las compañías y clientes, incrementando costos debido a retrabajo, entregas tardías y quejas. Una es rechazar producto aceptable, la otra es aceptar producto no conformante (Sumasto et al., 2023).

En conclusión, es fundamental que los datos sean fiables en la gestión de la calidad. El error de medición afecta la confiabilidad de los datos, lo cual resulta en incrementos de costos, entregas tardías y mala calidad para los clientes. Así, es necesario utilizar enfoques de MSA como el Gage R&R al iniciar un proyecto de MC debido a sus repercusiones.

La Enseñanza y Entrenamiento del MSA.

El MSA evalúa instrumentos, métodos y personas para garantizar la confiabilidad y precisión de los datos. La enseñanza y formación en el MSA es prioritaria para la toma de decisiones en entornos académicos y profesionales. Al adquirir competencias en MSA, tanto individuos como empresas de manufactura pueden diferenciar entre la variación debida a causas comunes de los procesos y la variación introducida por el sistema de medición. Esto permite implementar mejoras eficaces (Ialongo & Bernardini, 2018).

La inclusión de MSA en los cursos de ingeniería y gestión de la calidad en las instituciones académicas se ha vuelto una necesidad, ya que permiten facultar a los estudiantes a cumplir y contribuir con la demanda de la industria en la actualidad. Estos estudiantes adquieren una mayor comprensión para realizar

evaluaciones y mejora de los sistemas de medición que sean eficaces; esta es una habilidad altamente apreciada en la industria (Bayat, 2018).

La formación práctica resulta ser igual o más importante que la comprensión teórica y debe existir un balance. Los estudiantes pueden utilizar métodos analíticos en sistemas de medición reales a través de actividades de laboratorio, casos de estudio y aplicaciones prácticas, lo que les permite ver situaciones prácticas que no siempre se ven en la teoría. Implementar metodologías de MC requiere desarrollar habilidades esenciales como el pensamiento crítico y la resolución de problemas, entre otras. Al incorporarse al campo laboral, los participantes son expertos gracias a herramientas como los estudios Gage R&R, gráficas de control y software estadístico como Minitab (Zeng et al., 2022).

La MC en MSA es fundamental en los ambientes laborales para asegurar las competencias de los ingenieros, técnicos y operarios de calidad. La formación continua permite que el personal se mantenga al día en las mejores prácticas, ya que la tecnología y sistemas de medición evolucionan y se vuelven más complejos. La cuestión del error de medición y su análisis es mandatoria y crucial en sectores como el automotriz, aeroespacial y médico, donde la confiabilidad de los datos afecta la seguridad de los productos y consumidores, para cumplir con normas internacionales como ISO 9001 y el IATF 16949 (Coşkun et al., 2019).

Un equipo entrenado en MSA fomenta una cultura de calidad y MC en su entorno laboral. Los empleados que entienden la importancia de un buen sistema de medición tienen la habilidad de reconocer las fuentes del error y aplicar medidas correctivas. Mejora la eficacia de los procesos, reduce desperdicios y refuerza la confianza con los clientes (Vinayagasundaram et al., 2022).

DESARROLLO.

Metodología.

Para la revisión bibliográfica se tomó en cuenta la literatura académica publicada después del año 2018, excluyendo específicamente revisiones o metaanálisis, tesis doctorales, estudios con publicidad y trabajos

no escritos en inglés. Los criterios fueron: a) artículos originales en inglés; b) artículos de investigación pertinentes a la enseñanza y formación de análisis de sistemas de medición. La evaluación se realizó en tres fases: 1) recopilación de información: se describe el tipo de información que debe obtenerse, 2) revisión de artículos: se examina la información recopilada de las publicaciones para determinar si es pertinente para el tema de análisis y si ofrece una perspectiva del MSA, 3) Análisis de la información: los aspectos estudiados incluyeron el autor, el año de publicación, el título y los detalles pertinentes de cada entrada. Se incluyeron un total de 1,749 artículos, de los cuales 732 se incluyeron para la siguiente ronda de análisis, quedando solo 92 considerados significativos. Teniendo en cuenta el objetivo de esta investigación, solo 31 eran pertinentes.

Resultados.

Factores Críticos de Éxito del MSA.

Los factores críticos de éxito (FCE) de un MSA son aquellas actividades que las empresas y los directivos deben reconocer para asegurar el éxito en la implementación (Khorshid et al., 2023). A continuación, se enumeran ocho puntos críticos, siendo la dedicación y el compromiso de la alta dirección los que mayormente destacan, ya que la ejecución del MSA requieren inversiones en recursos humanos y capacitación.

1. Personal Entrenado y Capacitado. El personal requiere de una formación teórica y práctica en sistemas de medición y reconocer la importancia del MSA. Un buen desarrollo del personal reduce los errores humanos y mejora la confiabilidad de las mediciones (Arrigo et al., 2022).

2. Métodos de medición bien definidos. Contar con el método debidamente documentado garantiza la uniformidad en la obtención de mediciones. Al no contar con un método definido existirá diferencia y los resultados no serán reproducibles (Braun et al., 2022).

3. *Instrumento de medición apropiado.* Los aparatos de medición deben ser seleccionados cuidadosamente poniendo énfasis en la precisión y resolución necesaria. Se debe contar con un programa de calibración y mantenimiento preventivo (Singh et al., 2023).

4. *Calibración y mantenimiento.* Es importante definir la forma de calibración (interna o externa) y la periodicidad, esto permitirá que la precisión del equipo se mantenga a través de su vida útil. Al no calibrar los instrumentos se inducen inexactitudes sistemáticas (Wang et al., 2022).

5. *Análisis estadístico e interpretación.* Deben emplearse técnicas estadísticas adecuadas (por ejemplo, Gage R&R, sesgo, linealidad) para evaluar el sistema de medición. La comprensión e interpretación de los resultados son esenciales para reconocer los problemas (Hidalgo et al., 2023).

6. *Apoyo de la alta dirección.* La dirección debe dar prioridad a la MSA dentro de la estrategia global de calidad. Al no contar con el apoyo, el enfoque a la calidad podría ser insuficiente (Phadke & Amin, 2023).

7. *Integración con los sistemas de calidad.* El MSA debe ser incorporado a las políticas y procedimientos de la gestión de calidad, esto garantiza que la estrategia se unifique para la MC (Young et al., 2023).

8. *Integridad de los datos y la documentación.* Documentar y mantener un buen registro de los resultados del MSA son cruciales para la trazabilidad y para fines auditables (Rebollo et al., 2022).

Poner atención en estos ocho aspectos permiten a las organizaciones tener una implementación exitosa de un MSA y reconocer el error de medición brindando acciones que permitan contrarrestarlo para que los programas de MC brinden resultados confiables.

Instituciones que Enseñan MSA en México.

Dado que se ha mencionado que el entrenamiento y la enseñanza del MSA es un factor crítico de éxito, es importante identificar las principales instituciones que brindan esta formación. En México, existen instituciones que ofrecen cursos para capacitar sobre el error en los sistemas de medición y MSA, por lo general es en áreas de la gestión de calidad, la metrología y carreras de ingeniería donde se brinda. Las instituciones ofrecen incluso certificaciones y programas de grado que abarcan el MSA, la detección y

control de errores en el ámbito industrial. A continuación, se mencionan algunas de las instituciones que *incluyen el MSA en sus programas educativos*.

1. *Centro Nacional de Metrología (CENAM)*. Ofrece seminarios y talleres avanzados sobre errores de medición, métodos de calibración y análisis de errores. Además, colabora con empresas e instituciones académicas para mejorar la calidad y confiabilidad de los sistemas de medición en diversos sectores.

2. *Instituto Politécnico Nacional (IPN)*. El IPN dentro de sus programas de ingeniería, sistemas industriales y aseguramiento de la calidad, incorporan con frecuencia disciplinas como metrología, instrumentación y errores de medición en el plan de estudios. Además, ofrece certificados y formación continua en Seis Sigma y sistemas de calidad.

3. *Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*. Ofrece formación en ingeniería y ciencias físicas, con cursos sobre sistemas de medición, control estadístico de la calidad e instrumentación.

4. *Universidades e Institutos Tecnológicos*. Instituciones como el Tecnológico de Monterrey (ITESM) y numerosos Institutos Tecnológicos a nivel nacional ofrecen carreras técnicas y capacitación que abarcan MSA, análisis de errores de medición y técnicas de calibración.

5. *Organizaciones privadas de capacitación*. Entidades como ASQ México, Institutos Lean Six Sigma y organizaciones de consultoría ofrecen cursos y talleres acreditados sobre MSA análisis de errores y sistemas de calidad, frecuentemente de acuerdo con normas internacionales como ISO 9001 e IATF 16949.

El Rol de la Educación Psicológica para MSA.

El aspecto psicológico influye en la realización de un MSA, especialmente en cómo los seres humanos se relacionan con los datos de medición, la forma en que los analizan y utilizan en los entornos científicos e industriales. El MSA emplea la estadística para evaluar la exactitud, precisión y confiabilidad de los sistemas de medición, lo que permite garantizar una correcta toma de decisiones debida a la confiabilidad de los datos (Maaze & Shrivastava, 2023). Aunque el MSA hace hincapié en elementos cuantitativos como

la repetibilidad, la reproducibilidad, el sesgo y la linealidad, los aspectos humanos conformados por conocimientos psicológicos también afectan la eficacia de los sistemas de medición (Alshukur, 2023).

La forma en que la educación psicológica se relaciona es en la mejora de la confiabilidad del observador y la mitigación de prejuicios. Las personas que realizan mediciones son susceptibles de numerosos sesgos cognitivos, como el sesgo de confirmación, el anclaje y los errores perceptivos (Zhong et al., 2023); por ejemplo, dos técnicos pueden interpretar la misma lectura de forma diferente debido a una opinión subjetiva o a suposiciones previas. La formación psicológica ayuda a identificar estos sesgos y a utilizar medios para contrarrestarlos, como las técnicas de doble ciego o los protocolos estandarizados. Al comprender los mecanismos cognitivos que subyacen a la percepción y el juicio, los expertos en medición pueden reducir la variabilidad causada por las variables humanas, mejorando así la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados (Romero et al., 2022).

Una importante contribución psicológica se produce en los ámbitos de la educación y la comunicación. El MSA suele implicar equipos en los que la comunicación explícita y la comprensión mutua son esenciales. La formación psicológica proporciona a los profesionales, competencias en metodologías de formación eficaces, motivación y teoría del aprendizaje, lo que facilita una mejor incorporación y un perfeccionamiento continuo de las habilidades. Esto es especialmente importante a la hora de implementar nuevas herramientas o procesos de medición, ya que la curva de aprendizaje afecta a la precisión de los primeros datos (Mabokela et al., 2023).

Una metodología de formación con base psicológica garantiza que las personas adquieran destreza en el uso de los instrumentos, al mismo tiempo que comprenden la importancia de la constancia y la meticulosidad (Bramerdorfer, 2020); además, los conocimientos psicológicos mejoran el diseño del sistema y la ergonomía del usuario, ya que los dispositivos de medición deben desarrollarse considerando al usuario final para reducir los errores y mejorar la facilidad de uso.

En última instancia, la educación psicológica proporciona una cultura de mejora y responsabilidad. Comprender la psicología de la motivación y el comportamiento organizativo ayuda a fomentar lugares de trabajo en los que las personas muestran un mayor compromiso, se responsabilizan de la calidad de las mediciones y descubren proactivamente las fuentes de variación o error (Avila-Sanchez & Cuautle-Gutiérrez, 2020).

Implementación del MSA y sus beneficios.

El MSA se ha implementado en diversos sectores de la industria, generando ventajas que incluyen la calidad, eficiencia y entregas a tiempo al considerar los factores críticos de éxito (FCE). A continuación, se presentan tres ejemplos de implementaciones exitosas del MSA en la industria.

1. Fabricación Automotriz. Una empresa del giro automotriz que se dedica a la fabricación de balatas, emplea una máquina de medición por coordenadas (CMM) para evaluar las dimensiones del calibrador. Un MSA, particularmente un análisis de Repetibilidad y Reproducibilidad del Medidor (Gage R&R), indicó una alta variación atribuida a la técnica del operador y a una ubicación inconsistente de las piezas. El ingeniero de calidad implementó un fijador de piezas estandarizado y reentrenó a los operadores sobre este nuevo método de medición. Los resultados obtenidos de las mejoras implementadas son:

- Disminución de la variabilidad de las mediciones en más del 40%.
- Reducción de rechazos falsos, lo que resultó en menos retrabajos y desperdicios.
- Mejora en la satisfacción del cliente al garantizar una calidad constante.
- Incremento en la confianza en los datos utilizados para el Control Estadístico de Procesos (SPC).

2. Sector Médico. Un hospital evaluó la confiabilidad de los monitores automáticos de presión arterial en diferentes departamentos. Un MSA indicó que las discrepancias de calibración y las variaciones en la colocación del manguito por parte de las enfermeras estaban resultando en un alto porcentaje de error en los datos, mayor al 20%.

El hospital implementó un calendario de calibración sistemático y un entrenamiento estandarizado para la colocación del manguito. Los beneficios de la implementación de las mejoras son:

- Mejora en la consistencia de las mediciones, lo que aumenta la precisión diagnóstica.
- Disminución del riesgo para el paciente como resultado de una mayor precisión en la toma de decisiones de tratamiento.
- Mejor adherencia a los requisitos de precisión de los dispositivos médicos.
- Mayor confianza interdepartamental en los aparatos de diagnóstico comunales.

3. *Industria farmacéutica.* Una empresa farmacéutica realizó un MSA en un sistema de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) utilizado para cuantificar un ingrediente farmacéutico activo. La investigación indicó sesgo resultante de una preparación inadecuada de las muestras y un rendimiento variable de la columna. La organización incorporó ajustes a los procedimientos operativos estándar, reguló las condiciones ambientales, y realizó evaluaciones periódicas del sistema, logrando disminuir el sesgo en un 70%.

CONCLUSIONES.

El MSA es una herramienta de gran importancia en la gestión de la calidad y la mejora de los procesos de manufactura en diferentes sectores tales como: el automotriz, la farmacéutica, el médico, el aeroespacial, solo por mencionar algunos. La función principal de un MSA es evaluar la precisión, exactitud y confiabilidad de los sistemas de medición para asegurar que los datos utilizados en la toma de decisiones sean confiables; sin embargo, la eficacia del MSA depende en gran medida de la calidad de la formación, la exhaustividad de los programas educativos y la incorporación de principios psicológicos en la enseñanza e implementación del análisis de sistemas de medición.

Por otro lado, la enseñanza y el entrenamiento en MSA son fundamentales para desarrollar profesionales con experiencia en la evaluación y mejora de los sistemas de medición. Incluyendo técnicas estadísticas

como Gage R&R, sesgo, linealidad y estabilidad, las cuales requieren una comprensión no solo teórica sino práctica para su uso efectivo.

Además, la educación y enseñanza garantizan que los trabajadores analicen con precisión los resultados del MSA, identificando fuentes de error implementando medidas correctivas inmediatas. El no contar con programas de formación adecuados da pie a tener una mala interpretación de datos, cometer errores y usar de forma inapropiada los instrumentos de medición, lo que podría repercutir negativamente en los costos de la compañía, así como poner en riesgo la seguridad del usuario final, e incluso la vida.

En el MSA es importante incluir aspectos técnicos, pero también contemplar el factor humano, ya que día a día enfrentan problemas que pueden afectar las mediciones, y por esto es que la educación psicológica juega un papel importante. Estudios han demostrado que los errores de medición comúnmente no vienen del aparato, sino que surgen o son introducidos por la persona que los utilizan; es decir, son sesgos cognitivos, que típicamente se originan debido al estrés, agotamiento y a métodos no estandarizados que contribuyen a la variación en las mediciones. Así, la educación psicológica fomenta la conciencia sobre las limitaciones, desarrollando técnicas para mitigar los efectos.

Además, la educación psicológica mejora la comunicación y la colaboración del equipo, ambas esenciales en contextos donde varias personas interactúan con el mismo sistema de medición. Promover la seguridad psicológica, donde los individuos se sientan seguros al mostrar errores o incertidumbres, resulta en datos más precisos y en una detección más rápida de problemas sistémicos. También facilita la MC y la innovación en los sistemas de control de calidad.

Instituciones como CENAM, IPN y UNAM en México ilustran este modelo integrado al fusionar la educación técnica en metrología con la capacitación en sistemas de calidad, y progresivamente, en las dimensiones conductuales de la medición. Las organizaciones de capacitación privadas están destacando cada vez más la importancia del elemento humano en los sistemas de aseguramiento de la calidad, particularmente con Six Sigma, ISO y otras normas internacionales.

En conclusión, aunque el MSA es un instrumento técnico, su eficacia depende del rendimiento humano. La formación y la educación son clave para la correcta implementación de las técnicas de MSA, aunque su eficacia se ve significativamente mejorada cuando se integran con la educación psicológica. El enfoque tanto en las habilidades técnicas como en el comportamiento humano, las organizaciones pueden establecer sistemas de medición sólidos y confiables que sustentan la calidad, la eficiencia y el progreso continuo en diversas industrias.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Alshukur, M. (2023). Optimising the manufacturing process and product design using the design of experiment method: the case of fancy bouclé yarns. *International Journal of Quality Engineering and Technology*, 9(2), 145–160. <https://doi.org/10.1504/ijqet.2023.131550>
2. Ansari, M. S. A. (2022). Lean Six Sigma in Healthcare: some sobering thoughts on implementation. *Proceedings on Engineering Sciences*, 4(4), 457–468. <https://doi.org/10.24874/PES04.04.007>
3. Arrigo, R., Battezzore, D., Bernagozzi, G., Cravero, F., Ribero Pedraza, D. N., & Frache, A. (2022). Recycled PP for 3D Printing: Material and Processing Optimization through Design of Experiment. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(21). <https://doi.org/10.3390/app122110840>
4. Avila-Sanchez, M., & Cuautle-Gutiérrez, L. (2020). Knowledge variation in design of experiments between students and engineers working at industries from a private institution in Puebla, México. *Proceedings of the 2016 Industrial and Systems Engineering Research Conference, ISERC 2016*, 77–82. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85084079891&partnerID=40&md5=7afb8365d925977aa07d9fa8dd906e1e>
5. Bayat, H. (2018). Expected Long-Term Defect Rate of Analytical Performance in the Medical Laboratory: Assured Sigma Versus Observed Sigma. *Biochemia Medica*, 28(2). <https://doi.org/10.11613/bm.2018.020101>

6. Bramerdorfer, G. (2020). Multiobjective Electric Machine Optimization for Highest Reliability Demands. *CES Transactions on Electrical Machines and Systems*, 4(2), 71–78. <https://doi.org/10.30941/CESTEMS.2020.00011>
7. Braun, D., Ganor, Y. I., Samuha, S., Guttman, G. M., Chonin, M., Frage, N., Hayun, S., & Tiferet, E. (2022). A Design of Experiment Approach for Development of Electron Beam Powder Bed Fusion Process Parameters and Improvement of Ti-6Al-4V As-Built Properties. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/jmmp6040090>
8. Chen, K.-S., & Yu, C.-M. (2022). Fuzzy decision-making model for process quality improvement of machine tool industry chain. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 42(3), 1547–1558. <https://doi.org/10.3233/JIFS-210868>
9. Coşkun, A., Serteser, M., & Ünsal, İ. (2019). The Short Story of the Long-Term Sigma Metric: Shift Cannot Be Treated as a Linear Parameter. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (Cclm)*, 57(9), e211–e213. <https://doi.org/10.1515/cclm-2018-1139>
10. Dweiri, F., & Ishaq, S. (2020). Cable insulation productivity improvement using Lean Six Sigma. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 30(4), 488–508. <https://doi.org/10.1504/IJPQM.2020.108573>
11. Farrukh, A., Mathrani, S., & Sajjad, A. (2023). An exploratory study of green-lean-six sigma motivators for environmental sustainability: Managerial insights from a developed and developing economy. *Business Strategy and the Environment*, 32(8), 5187–5210. <https://doi.org/10.1002/bse.3412>
12. González Ruiz, J. A., Blanco, N., & Gascons, M. (2022). Enhancing process performance for composite padel racket manufacture using Six Sigma-DMAIC and VSM synergetic support. *Cogent Engineering*, 9(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2022.2084982>

13. González-Cebrián, A., Hermenegildo, M., Climente, M., & Ferrer, A. (2022). Multivariate Six Sigma: A case study in an outpatient pharmaceutical care unit. *Quality Engineering*, 34(2), 277–289. <https://doi.org/10.1080/08982112.2022.2042018>
14. Hidalgo, M. F. V, Apachitei, G., Dogaru, D., Faraji-Niri, M., Lain, M., Copley, M., & Marco, J. (2023). Design of experiments for optimizing the calendering process in Li-ion battery manufacturing. *Journal of Power Sources*, 573. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233091>
15. Ialongo, C., & Bernardini, S. (2018). Long Story Short: An Introduction to the Short-Term and Longterm Six Sigma Quality and Its Importance in Laboratory Medicine for the Management of Extra-Analytical Processes. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (Cclm)*, 56(11), 1838–1845. <https://doi.org/10.1515/cclm-2018-0310>
16. Jang, J., & Kim, C. O. (2022). Unstructured borderline self-organizing map: Learning highly imbalanced, high-dimensional datasets for fault detection. *Expert Systems with Applications*, 188. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116028>
17. Jiang, S.-J., Dong, T.-K., Dai, W.-B., & Zhan, M. (2022). Theoretical and Experimental Study on Tensile Properties of Fused Filament Fabrication Thin Plates. *Dongbei Daxue Xuebao/Journal of Northeastern University*, 43(1), 65–70. <https://doi.org/https://doi.org/10.12068/j.issn.1005-3026.2022.01.009>
18. Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Ghadge, A., & Raut, R. (2020). A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs-A review and empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229, 107853.
19. Khanzode, A. G., Sarma, P. R. S., & Goswami, M. (2023). Modelling interactions of select enablers of Lean Six-Sigma considering sustainability implications: an integrated circular economy and Industry 4.0 perspective. *Production Planning and Control*, 34(10), 1020–1036. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1980908>

20. Khorshid, S., Goffi, R., Maurizii, G., Benedetti, S., Sotgiu, G., Zamboni, R., Buoso, S., Galuppi, R., Bordoni, T., Tiboni, M., Aluigi, A., & Casettari, L. (2023). Microfluidic manufacturing of tioconazole loaded keratin nanocarriers: Development and optimization by design of experiments. *International Journal of Pharmaceutics*, 647. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2023.123489>
21. Krstovski, S., & Alwerfalli, D. (2022). A BLENDED APPROACH OF LEAN SIX SIGMA AND TRIZ TO DISCOVER AN OPTIMAL LEVEL FOR EMPLOYEE EMPOWERMENT IN PURCHASING INDUSTRIAL MATERIALS. *International Journal for Quality Research*, 16(3), 905–916. <https://doi.org/10.24874/IJQR16.03-17>
22. Lim, M. K., Lai, M., Wang, C., & Lee, S. Y. (2022). Circular economy to ensure production operational sustainability: A green-lean approach. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 130–144. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.12.001>
23. Maaze, M. R., & Shrivastava, S. (2023). Design development of coal-based fly ash geopolymer brick using orthogonal array design of experiment. *International Journal of Coal Preparation and Utilization*. <https://doi.org/10.1080/19392699.2023.2270922>
24. Mabokela, M. M., Sukdeo, N. I., & Akilimalissiga, S. (2023). The Use of Quality Control Tools for Continuous Improvement: A Perspective of The Manufacturing Industry. *Proceedings of the 29th International Conference on Engineering, Technology, and Innovation: Shaping the Future, ICE 2023*. <https://doi.org/10.1109/ICE/ITMC58018.2023.10332376>
25. Makwana, A. D., & Patange, G. S. (2022). Strategic implementation of 5S and its effect on productivity of plastic machinery manufacturing company. *Australian Journal of Mechanical Engineering*, 20(1), 111–120. <https://doi.org/10.1080/14484846.2019.1676112>
26. Naeemah, A. J., & Wong, K. Y. (2022). Positive impacts of lean manufacturing tools on sustainability aspects: a systematic review. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 39(7), 552–571. <https://doi.org/10.1080/21681015.2022.2041742>

27. Phadke, A., & Amin, P. (2023). Orally Disintegrating Film of High-Dose BCS II Drug by Hot Melt Extrusion through Design of Experiment. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, 18(1), 247–261. <https://doi.org/10.1007/s12247-022-09631-3>
28. Psarommatis, F., Sousa, J., Mendonça, J. P., & Kiritsis, D. (2022). Zero-defect manufacturing the approach for higher manufacturing sustainability in the era of industry 4.0: a position paper. *International Journal of Production Research*, 60(1), 73–91. <https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1987551>
29. Rebollo, R., Oyoun, F., Corvis, Y., El-Hammadi, M. M., Saubamea, B., Andrieux, K., Mignet, N., & Alhareth, K. (2022). Microfluidic Manufacturing of Liposomes: Development and Optimization by Design of Experiment and Machine Learning. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 14(35), 39736–39745. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c06627>
30. Romero, D., Gaiardelli, P., Powell, D. J., & Zanchi, M. (2022). Intelligent Poka-Yokes: Error-Proofing and Continuous Improvement in the Digital Lean Manufacturing World. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 664 IFIP, 595–603. https://doi.org/10.1007/978-3-031-16411-8_68
31. Sánchez-Rebull, M.-V., Niñerola, A., Ferrer-Rullan, R., & Hernández-Lara, A.-B. (2022). Six Sigma for workplace safety improvement: improving hazards and unsafe conditions in a metallic packaging manufacturing company. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 28(2), 766–778. <https://doi.org/10.1080/10803548.2020.1829318>
32. Saupi, A. A., & Midi, H. (2021). Outlier Detection Method in Crossed Gage Repeatability and Reproducibility (R&R) Random Effect Model. *Malaysian Journal of Mathematical Sciences*, 15(3), 333–345. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/02664763.2021.1911965>

33. Shirodkar, A., & Rane, S. (2021). Evaluation of coordinate measuring machine using gage repeatability & reproducibility. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 12(1), 84–90.
34. Singh, D. P., Dwivedi, V. K., & Agarwal, M. (2023). Impact of reinforcement proportions on mechanical properties and micro-structure of modified Al₂O₃-LM6 cast composites synthesized at self-pouring temperature: optimization through mixture design of experiment (DoE). *World Journal of Engineering*. <https://doi.org/10.1108/WJE-06-2023-0156>
35. Sumasto, F., Nugroho, Y. A., Purwojatmiko, B. H., Wirandi, M., Imansuri, F., & Aisyah, S. (2023). Implementation of measurement system analysis to reduce measurement process failures on Part Reinf BK6. *Indonesian Journal of Industrial Engineering & Management*.
36. Tosun, T., & Tosun, M. (2020). Heat exchanger optimization of a domestic refrigerator with separate cooling circuits. *Applied Thermal Engineering*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114810>
37. Tsang, Y. P., Wu, C. H., Lin, K.-Y., Tse, Y. K., Ho, G. T. S., & Lee, C. K. M. (2022). Unlocking the power of big data analytics in new product development: An intelligent product design framework in the furniture industry. *Journal of Manufacturing Systems*, 62, 777–791. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.02.003>
38. Varadı, Z., & Szilagyı, G. A. (2023). Applicability of a Gage R&R Study on a Home Blood Glucose Meter. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 23, 292–299.
39. Vinayagasundaram, R., Gowtham, S., Guruvignesh, M., & Jeyaram, R. (2022). Lean production as a tool for Sustainability using Six-Sigma and VSM framework in manufacturing industry. 2022 2nd International Conference on Computer Science, Engineering and Applications, ICCSEA 2022. <https://doi.org/10.1109/ICCSEA54677.2022.9936119>

40. Virmani, N., & Salve, U. R. (2022). Assessment of human and system related barriers during implementation of green lean Six Sigma in Indian manufacturing industries. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 40(2), 157–180. <https://doi.org/https://doi.org/10.1504/IJISE.2022.121044>
41. Wang, H., Chen, K., Lin, B., Kou, J., Li, L., Wu, S., Liao, S., Sun, G., Pu, J., Yang, H., & Wang, Z. (2022). Process Development and Optimization of Linagliptin Aided by the Design of Experiments (DoE). *Organic Process Research and Development*, 26(12), 3254–3264. <https://doi.org/10.1021/acs.oprd.2c00230>
42. Wassan, R. K., Hulio, Z. H., Gopang, M. A., Sarwar, U., Akbar, A., & Kaka, S. (2022). Practical application of Six Sigma Methodology to reduce defects in a Pakistani Manufacturing Company. *Journal of Applied Engineering Science*, 20(2), 552–561. <https://doi.org/https://doi.org/10.5937/jaes0-34558>
43. Young, D., Vondrasek, B., & Czabaj, M. W. (2023). Machine learning guided design of experiments to accelerate exploration of a material extrusion process parameter space. *Journal of Intelligent Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s10845-023-02255-5>
44. Zeng, Y., Peng, S., Meng, L., & Huang, H. (2022). Establishment of Risk Quality Control Charts Based on Risk Management Strategies. *Annals of Clinical Biochemistry International Journal of Laboratory Medicine*, 59(4), 288–295. <https://doi.org/10.1177/00045632221086468>
45. Zhong, Y., Fan, X.-H., & Li, Z.-H. (2023). Lean strategy for data mining and continuous improvement of Chinese pharmaceutical process: a case study of sporoderm-removal *Ganoderma lucidum* spore powder. *Zhongguo Zhong Yao Za Zhi = Zhongguo Zhongyao Zazhi = China Journal of Chinese Materia Medica*, 48(3), 829–834. <https://doi.org/10.19540/j.cnki.cjcmm.20221108.301>

DATOS DE LOS AUTORES.

1. **Omar Celis-Gracia.** Máster en Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación, Estudiante del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería Avanzada, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Email: al232735@alumnos.uacj.mx
2. **Jorge Luis García-Alcaraz.** Doctor en Ciencias de la Ingeniería Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Profesor-Investigador de Tiempo Completo, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Ciudad Juárez, Chihuahua, México. Email: jorge.garcia@uacj.mx

RECIBIDO: 7 de mayo del 2025.

APROBADO: 20 de junio del 2025.