

Artículo de investigación

<https://doi.org/10.47460/athenea.v6i22.117>

## Automatización y robótica en la gestión de operaciones: retos administrativos, sociales y de innovación emprendedora

Ludwin David Huacasi Añamuro\*

<https://orcid.org/0000-0003-0690-6412>

lhuacasi@unsa.edu.pe

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa  
Arequipa, Perú

Rildo Santos Bellido Medina

<https://orcid.org/0000-0002-8699-3490>

rbellido@unsa.edu.pe

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa  
Arequipa, Perú

Erick Percy Berrios Fernández

<https://orcid.org/0009-0009-8311-7282>

eberrios@ucsm.edu.pe

Universidad Católica de Santa María  
Arequipa, Perú

Christian Herbert Cueva Allison

<https://orcid.org/0009-0008-4339-4798>

ccuevaa@ucsm.edu.pe

Universidad Católica de Santa María  
Arequipa, Perú

\*Autor de correspondencia: lhuacasi@unsa.edu.pe

Recibido (03/08/2025), Aceptado (10/10/2025)

**Resumen.** En este estudio experimental se analiza la implementación de un sistema automatizado con brazo robótico en un entorno de manufactura semiestructurada, evaluando sus impactos en la eficiencia operativa, la reorganización administrativa, la percepción social de los trabajadores y las oportunidades de innovación emprendedora. Se diseñó un prototipo funcional de célula de trabajo automatizada integrada con sensores, un microcontrolador y una interfaz de control digital. Se aplicó un análisis comparativo de desempeño antes y después de la intervención, junto con encuestas semiestructuradas a los operarios y entrevistas a gerentes de área. Los resultados revelan mejoras del 34,5% en tiempos de ciclo, pero también evidencian tensiones en la gestión del talento humano y desafíos éticos. Se concluye que la automatización no solo es una herramienta técnica, sino una palanca para repensar modelos administrativos y fomentar microemprendimientos de base tecnológica.

**Palabras clave:** automatización industrial, brazo robótico, gestión operativa, impacto social, innovación emprendedora.

### Automation and Robotics in Operations Management: Administrative, Social, and Entrepreneurial Innovation Challenges

**Abstract.** This experimental study examines the implementation of an automated system with a robotic arm in a semi-structured manufacturing environment, assessing its impacts on operational efficiency, administrative reorganization, workers' social perceptions, and opportunities for entrepreneurial innovation. A functional prototype of an automated work cell was designed, integrating sensors, a microcontroller, and a digital control interface. A comparative performance analysis was conducted before and after the intervention, along with semi-structured surveys administered to operators and interviews with area managers. The results reveal a 34.5% improvement in cycle times, while also highlighting tensions in human talent management and emerging ethical challenges. The study concludes that automation is not merely a technical tool, but a lever for rethinking administrative models and fostering technology-based micro-entrepreneurship.

**Keywords:** industrial automation, robotic arm, operational management, social impact, entrepreneurial innovation.



## I. INTRODUCCIÓN

La automatización y la robótica se han consolidado en las últimas décadas como ejes medulares de la modernización industrial, impulsadas por la convergencia tecnológica de sensores, control digital, inteligencia artificial y sistemas ciberfísicos. En este contexto de transformación, frecuentemente denominado como Industria 4.0, la incorporación de robots industriales ha permitido a las empresas optimizar procesos, mejorar la calidad de sus productos y aumentar la productividad laboral [1].

Un metaanálisis reciente, basado en más de 1800 estimaciones provenientes de 81 estudios primarios, concluye que, aunque existe una tendencia general hacia mejoras de productividad con la robotización, el efecto promedio, considerando todos los contextos y niveles de adopción, es modesto y se ve atenuado por los costos de ajuste y las intensidades bajas de adopción robótica [2].

Por otro lado, estudios contemporáneos que emplean datos de empresas manufactureras muestran que la adopción de robots industriales puede estimular la productividad total de los factores (TFP), especialmente cuando la integración se acompaña de capital humano calificado, mejoras en métodos operativos y reconfiguración administrativa [3]. Estos hallazgos sugieren que la robotización no es un fin en sí mismo: su beneficio real depende de cómo se inserte en un sistema organizativo mayor, con infraestructura de gestión, formación técnica y visión estratégica.

Sin embargo, la automatización también genera desafíos importantes. Desde la perspectiva del empleo, existe evidencia de que la introducción de robots tiende a producir un efecto de desplazamiento sobre tareas rutinarias o repetitivas, especialmente en niveles de baja o mediana calificación, mientras que simultáneamente puede aumentar la demanda por trabajadores altamente calificados, encargados de programación, mantenimiento o supervisión técnica [4]. Esto plantea tensiones estructurales en las organizaciones y en los mercados laborales, particularmente en economías emergentes o en empresas medianas donde los recursos para reconversión son limitados.

Además, la integración de sistemas robóticos exige replantear los procesos administrativos, las dinámicas de supervisión, la formación del personal y la gestión del cambio cultural. En este sentido, no basta con instalar tecnología: se requiere un diseño organizacional consciente que articule la reconfiguración operativa con estrategias para el desarrollo del talento humano, la redistribución de funciones y, en algunos casos, la creación de nuevas oportunidades de negocio [5].

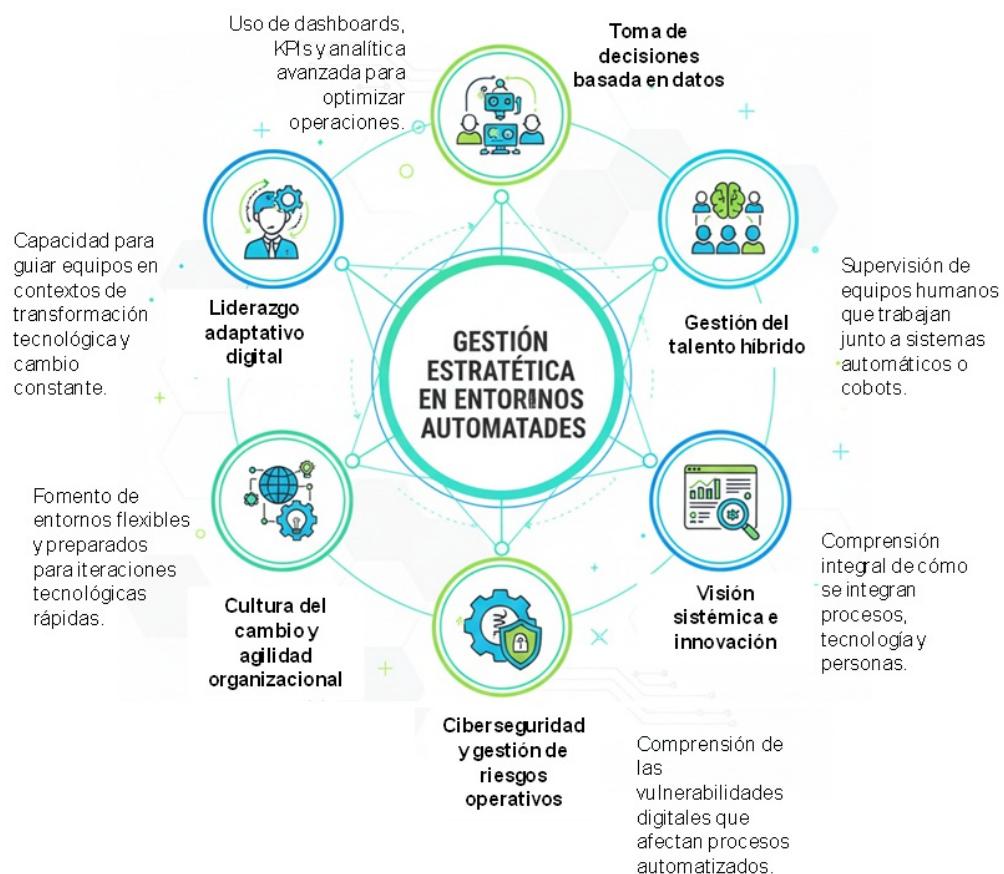
De esta manera, el presente trabajo mezcla promesas de eficiencia y retos de gestión desde una perspectiva social. A diferencia de trabajos de carácter teórico o de revisión, esta investigación aborda la implementación de un sistema automatizado mediante robótica en una empresa mediana de manufactura semiestructurada, evaluando no solo los indicadores operativos, sino también los efectos en la organización administrativa, en la percepción laboral y en las posibilidades de innovación emprendedora. Con ello, se pretende aportar evidencia empírica sobre la multifacética naturaleza de la automatización como herramienta técnica, como catalizadora de transformación organizativa y como posible motor de emprendimientos de base tecnológica.

## II. MARCO TEÓRICO

La automatización industrial representa una de las transformaciones más significativas en la gestión de operaciones del siglo XXI. Su implementación se ha visto fortalecida por el avance de tecnologías como los sistemas ciberfísicos, el Internet Industrial de las Cosas (*IIoT*), el análisis en tiempo real y la robótica colaborativa, elementos centrales de la denominada Industria 4.0. Este paradigma promueve la conexión inteligente entre máquinas, procesos y personas, con el objetivo de optimizar la eficiencia, reducir errores operativos y aumentar la adaptabilidad productiva [6]. La robótica, en particular, desempeña un papel protagónico al permitir automatizar tareas repetitivas, peligrosas o de alta precisión, y ofrecer nuevas posibilidades en el diseño de líneas de producción flexibles y modulables [7].

Numerosos estudios han evidenciado que la incorporación de robots industriales puede mejorar significativamente indicadores de productividad, calidad y disponibilidad operativa. Un análisis reciente de más de 300 empresas manufactureras identificó incrementos promedio del 15 % en la productividad total de los factores, especialmente cuando la automatización se acompaña de rediseños administrativos y mejoras en la capacitación del personal [8]. Sin embargo, estos beneficios no se distribuyen de manera uniforme, pues su impacto depende en gran medida de la capacidad organizativa para integrar tecnología con procesos existentes, adaptar los flujos de trabajo y asegurar la interoperabilidad entre sistemas [9].

Desde una perspectiva organizacional, la automatización no implica simplemente la sustitución de fuerza laboral por maquinaria, sino una reestructuración profunda de funciones como la supervisión, el control de calidad, el mantenimiento predictivo y la toma de decisiones. Esta transformación exige nuevas competencias gerenciales y la adopción de modelos híbridos donde el capital humano interactúa estrechamente con los sistemas digitales (Figura 2). El diseño de interfaces intuitivas, la ergonomía digital y la trazabilidad de datos se convierten en componentes críticos para una implementación exitosa [10]. Asimismo, el despliegue de tecnologías automatizadas presenta desafíos asociados a la adaptación cultural, la resistencia al cambio y la reconfiguración del liderazgo en los equipos de trabajo [11].



**Fig. 1.** Nuevas competencias gerenciales en la era de la automatización y la robótica.

El impacto de la automatización sobre el empleo es uno de los temas más debatidos en la literatura reciente. Según el modelo de tareas propuesto por Acemoglu y Restrepo [12], las tecnologías emergentes tienden a reemplazar tareas rutinarias, generando una polarización del mercado laboral: mientras desaparecen empleos de baja calificación, aumentan los requerimientos de perfiles técnicos y profesionales. En el caso de los entornos industriales, esta tendencia se traduce en la necesidad de reconversión laboral, implementación de programas de formación continua y fortalecimiento de habilidades transversales, como la resolución de problemas técnicos, la interpretación de datos y la gestión de tecnologías digitales [13]. Sin estas medidas, la automatización puede acentuar desigualdades, generar incertidumbre y limitar su aceptación social dentro de las organizaciones.

Además de su dimensión tecnológica y laboral, la automatización plantea implicaciones relevantes para la innovación emprendedora. En contextos donde se implementan sistemas robóticos, surgen oportunidades para la creación de microempresas especializadas en mantenimiento, integración de sensores, desarrollo de soluciones de software y consultoría en transformación digital. Diversos estudios han documentado cómo las intervenciones tecnológicas en empresas medianas derivan en la incubación de nuevos proyectos liderados por operarios capacitados, quienes identifican nichos de mercado a partir de sus experiencias directas con sistemas automatizados [14]. Esta dimensión innovadora puede potenciarse si las organizaciones desarrollan entornos de aprendizaje, promueven la autonomía técnica de sus equipos y establecen alianzas estratégicas con centros de investigación o instituciones de educación superior.

### III. METODOLOGÍA

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo-cualitativo de tipo experimental aplicado, orientado a evaluar los efectos de la implementación de un sistema robótico automatizado en una unidad operativa de manufactura semiestructurada. La investigación se desarrolló en una empresa mediana del sector productivo industrial, con el propósito de analizar de manera integral los impactos técnicos, administrativos y sociales derivados de la automatización parcial de una célula de trabajo.

Se empleó un diseño cuasi-experimental con medición *pretest* y *posttest* sin grupo de control paralelo, dado que la intervención se realizó sobre una unidad operativa en condiciones reales de funcionamiento. El objeto de estudio fue una estación de trabajo originalmente manual, donde se llevaban a cabo tareas de ensamblaje repetitivo (Figura 2). Esta estación fue posteriormente automatizada mediante la implementación de un brazo robótico programable, sensores ópticos y un sistema de control digital con interfaz visual.

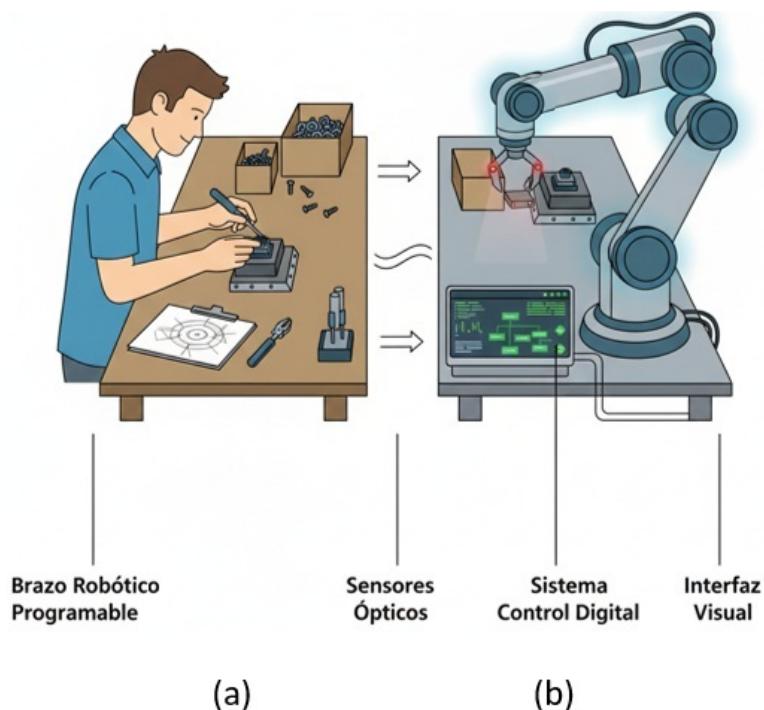


Fig. 2. Ejemplo visual de estación de trabajo empleada, (a) modo manual (b) modo automatizado.

La comparación entre las fases preintervención y postintervención permitió cuantificar los cambios en variables operativas clave, así como evaluar las percepciones del personal involucrado y la generación de ideas emprendedoras derivadas del proceso. De esta manera, la unidad de análisis fue una estación de ensamblaje en una línea de producción con un promedio de 8 operarios rotativos. Se seleccionaron 6 trabajadores y 2 supervisores para la fase cualitativa, mientras que la recolección cuantitativa de datos operativos consideró los registros técnicos de 30 ciclos de producción antes y después de la automatización. Esta muestra fue seleccionada por conveniencia, con criterios de acceso, disponibilidad y continuidad operativa.

Para esto, se utilizaron diversos instrumentos de medición:

- *Ficha técnica de desempeño operativo*: diseñada para registrar el tiempo de ciclo, número de errores, frecuencia de paradas y volumen producido.
- *Guía de entrevista semiestructurada*: aplicada a los supervisores y operarios para identificar percepciones, resistencias y adaptaciones ante el nuevo sistema.
- *Registro de propuestas de mejora*: formulario abierto donde los trabajadores expresaron ideas para optimizar el sistema o derivar proyectos innovadores.
- *Checklists administrativos*: elaborados para evaluar cambios en los procesos de supervisión, control de calidad y requerimientos de gestión post-automatización.

Las variables se agruparon en tres dimensiones principales según se describen en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Dimensiones y variables utilizadas en el estudio.

Dimensión	Variable principal	Indicadores específicos
Operativa	Eficiencia productiva.	Tiempo de ciclo, errores por lote, volumen de salida.
Administrativa	Transformación organizacional.	Carga de supervisión, registros de mantenimiento, roles redefinidos.
Social-emprendedora	Adaptación y respuesta del personal.	Nivel de aceptación, número de propuestas innovadoras.

El estudio se desarrolló en cuatro fases:

1. *Fase 1: Diagnóstico inicial*, donde se realizó la observación directa, levantamiento de tiempos y entrevistas para establecer la línea base.
2. *Fase 2: Diseño e instalación del sistema robótico*, donde se programó un brazo robótico de 4 grados de libertad controlado por Arduino Mega, con sensores y un sistema de interfaz gráfica desarrollado en Python.
3. *Fase 3: Capacitación y adaptación del personal*, que consistió en sesiones breves de formación técnica y un periodo de 5 días de convivencia operativa antes de la recolección postest.
4. *Fase 4: Evaluación final y análisis comparativo*, donde se aplicaron los instrumentos y se consolidaron los datos para identificar los cambios y evaluar el cumplimiento de los objetivos.

Los datos cuantitativos fueron procesados mediante estadística descriptiva y análisis comparativo de medias para observar variaciones significativas en los indicadores antes y después de la intervención. Los datos cualitativos se analizaron mediante codificación temática, categorizando las respuestas en torno a tres ejes: percepción de utilidad, barreras de aceptación y potencial de innovación. Los hallazgos fueron triangulados para validar la coherencia entre las dimensiones operativas, administrativas y sociales.

## IV. RESULTADOS

### A. Fase 1: Diagnóstico inicial

Durante la primera semana de levantamiento de datos, se realizó un seguimiento no participativo de la estación de ensamblaje manual con registro continuo de actividades, flujos, pausas y errores operativos. La célula productiva estaba conformada por un operario responsable del ensamblaje de componentes plásticos y un supervisor encargado de la verificación final. Se observaron cuellos de botella en la sincronización entre el retiro del componente anterior y la colocación del siguiente, así como interrupciones frecuentes por ajustes menores en el posicionamiento de piezas.

Entre los hallazgos más relevantes, se identificó que la estación dependía en un 100 % de la motricidad fina del operario, no existía estandarización de tiempos de ciclo y se registraron en promedio 2 errores por cada 10 ciclos, principalmente asociados al posicionamiento impreciso. El operario debía realizar desplazamientos breves pero repetitivos (alcance manual izquierdo-derecho) que acumulaban carga física. Además, se ejecutó una cronometría directa de 30 ciclos consecutivos bajo condiciones normales (Tabla 2).

**Tabla 2.** Tiempos representativos de ciclo en la estación manual (línea base).

Ciclo	Tiempo (s)	Observaciones
1	22,1	Movimiento errático
3	19,9	Ciclo fluido sin interrupciones
5	21,6	Retrabajo leve por mal ajuste
9	20,3	Tiempo estándar
12	23,7	Ciclo más lento, error en alineación
15	18,8	Ciclo más rápido registrado
19	21,1	Leve desincronización manual
23	20,9	Flujo estable
27	22,4	Movimiento repetido
30	20,5	Ejecución sin errores

Con el objetivo de caracterizar cuantitativamente el desempeño inicial de la estación, se calcularon estadísticos descriptivos generales (Tabla 3).

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos generales de los ciclos manuales.

Indicador	Valor
Tiempo promedio por ciclo	21,4 segundos
Desviación estándar	1,26 segundos
Tiempo mínimo registrado	18,8 segundos
Tiempo máximo registrado	23,7 segundos
Microparadas observadas	12 en 30 ciclos

Los resultados evidenciaron una alta variabilidad entre ciclos consecutivos, lo que sugiere la ausencia de estandarización y de guías de apoyo visual. Además, se registraron 12 eventos de microparadas por errores de alineación o retrabajos menores.

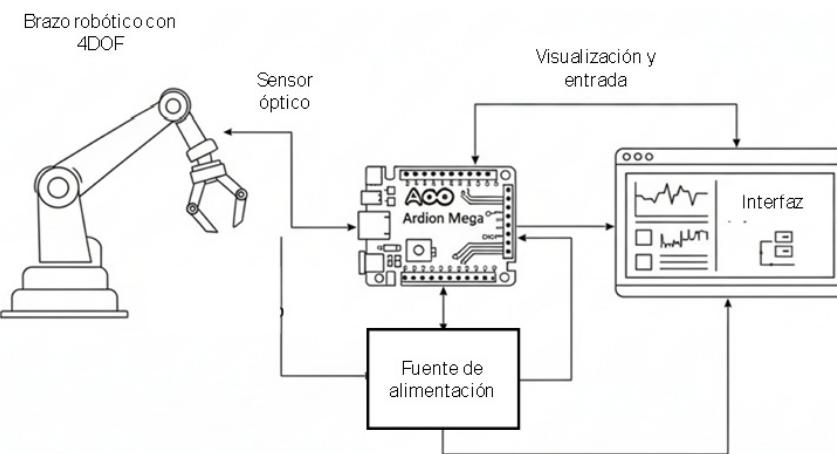
Durante las entrevistas, los operarios describieron el proceso como “sencillo pero cansado”, indicando fatiga por repetitividad. El supervisor mostró una postura favorable a la automatización, señalando que podría “estabilizar los tiempos y reducir errores”, mientras que uno de los operarios expresó preocupación por una posible pérdida de funciones. Ambos coincidieron en que “una máquina de apoyo sería conveniente si no reemplaza totalmente el rol humano”.

El personal recomendó incorporar sensores de precisión, un botón de parada de emergencia visible y asegurar que los nuevos tiempos de ciclo no excedieran los actuales.

#### *B. Fase 2: Diseño e instalación del sistema robótico*

Durante esta fase se diseñó e implementó una célula automatizada de ensamblaje, orientada a replicar las funciones básicas del operario humano con mayor precisión, estabilidad y repetibilidad. El sistema fue desarrollado con un brazo robótico de cuatro grados de libertad, montado sobre una base fija y controlado mediante un microcontrolador Arduino Mega programado en lenguaje C++. El conjunto fue complementado con sensores ópticos de proximidad y presencia, que permiten detectar con precisión la posición del componente a ensamblar, y un sistema de interfaz gráfica diseñado en Python (Tkinter), que facilita la visualización del estado de operación en tiempo real y la activación de funciones específicas del sistema.

El circuito de control incorporó una arquitectura modular (Figura 3), en la cual los sensores envían señales al microcontrolador, que regula el movimiento del brazo mediante servomotores. Se integró una rutina de parada automática ante la detección de obstáculos y un botón físico de emergencia, de acuerdo con las sugerencias del personal operativo obtenidas en la Fase 1. El sistema fue probado en vacío durante quince ciclos de evaluación antes de su entrada en producción con carga real, registrando un desempeño estable y sin errores de ejecución.



**Fig. 3.** Esquema de la implementación.

#### C. Fase 3: Capacitación y adaptación del personal

Tras la instalación del sistema robótico, se desarrolló un proceso breve pero intensivo de capacitación dirigido al equipo operativo, con el objetivo de facilitar la comprensión y el uso seguro del nuevo entorno automatizado. La capacitación consistió en dos sesiones teórico-prácticas de cuarenta y cinco minutos cada una, centradas en: (1) funcionamiento básico del brazo robótico, (2) interpretación de señales del sensor óptico, (3) operación de la interfaz gráfica y (4) procedimientos de parada de emergencia. Las sesiones fueron dirigidas por el equipo técnico desarrollador, y se realizó una demostración supervisada con intervención directa de los operarios.

Posterior a la capacitación, se implementó un período de convivencia operativa de cinco días, durante el cual los trabajadores interactuaron directamente con el sistema en ciclos de producción reales. Durante esta etapa se observaron inicialmente errores de activación en la interfaz, leves demoras en la respuesta manual ante cambios de estado del sistema y dudas frecuentes respecto a la priorización entre botones físicos y la GUI. No obstante, al tercer día de operación continua, el número de errores de uso disminuyó progresivamente.

En la Tabla 4 se presenta un resumen de las observaciones realizadas durante esta fase, basado en una ficha estructurada completada por el supervisor de línea.

**Tabla 4.** Observaciones durante la fase de adaptación al sistema automatizado.

Día	Incidencias registradas	Nivel de dominio observado	Observación cualitativa destacada
1	5 errores en el uso de la GUI.	Bajo	“No sabía si debía usar el botón físico o la pantalla.”
2	3 errores, 2 reinicios manuales.	Intermedio	“Ya entiendo cómo confirmar que la pinza está alineada.”
3	1 error leve.	Intermedio-alto	“El sensor responde más rápido de lo que esperaba.”
4	0 errores.	Alto	“Ahora sé exactamente en qué momento intervenir.”
5	0 errores.	Alto consolidado	“Podría entrenar a otro compañero en esto.”

Al finalizar la fase de adaptación, los operarios manifestaron confianza en el uso del sistema y propusieron mejoras menores relacionadas con la disposición del botón de parada y el orden de los menús en la interfaz. Esta etapa fue clave para garantizar una transición efectiva hacia el nuevo modelo de operación y reducir las resistencias iniciales identificadas en la Fase 1.

#### D. Fase 4: Evaluación comparativa de desempeño

Finalizado el proceso de capacitación y adaptación, se procedió a medir el desempeño del sistema automatizado en condiciones operativas reales, utilizando los mismos instrumentos y criterios que en la Fase 1. Se registraron 30 ciclos consecutivos de producción, ahora ejecutados por el brazo robótico

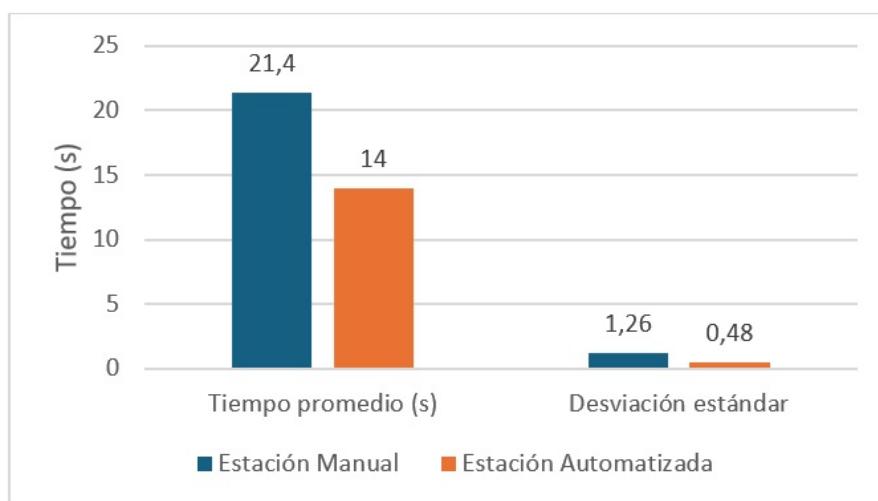
programado, con intervención mínima del operario. Los resultados mostraron una mejora significativa en el tiempo de ciclo promedio y en la reducción de errores operativos.

**Tabla 5.** Comparación de indicadores antes y después de la automatización.

Indicador	Estación manual	Estación automatizada	Diferencia (%)
Tiempo promedio por ciclo (s)	21,4	14,0	-34,6 %
Desviación estándar (s)	1,26	0,48	-61,9 %
Ciclos con errores (% del total)	40 % (12 de 30)	3,3 % (1 de 30)	-91,7 %
Microparadas	12	1	-91,6 %

Estos resultados indican que la automatización no solo mejoró la eficiencia temporal, sino que redujo notablemente la variabilidad entre ciclos y los errores de ejecución. La desviación estándar cayó más del 60 %, lo que sugiere una estandarización efectiva del proceso. La reducción de microparadas y fallos de alineación refleja el acierto en el diseño del sistema robótico y en el uso de sensores ópticos de precisión.

En la Figura 4 se presenta una comparación gráfica entre los tiempos promedio de operación y sus respectivas desviaciones estándar para dos tipos de estaciones: manual y automatizada. Se observa que la estación automatizada reduce significativamente el tiempo promedio de ejecución (14,0 s) en comparación con la estación manual (21,4 s), lo que representa una mejora del 34,6 % en eficiencia operativa. Además, la menor dispersión de los datos en la estación automatizada (desviación estándar de 0,48) frente a la estación manual (1,26) indica un proceso más estable y consistente. Estos resultados evidencian el impacto positivo de la automatización sobre la productividad y la precisión del proceso analizado.



**Fig. 4.** Comparativa entre manual y automatizado.

#### E. Retos administrativos, sociales y de innovación emprendedora

La implementación de sistemas automatizados y robóticos en la gestión de operaciones no puede analizarse únicamente desde el plano técnico, pues su impacto real se extiende a dimensiones administrativas, sociales y de innovación. Este estudio experimental, al igual que otros trabajos recientes sobre automatización industrial [1], confirma que los beneficios operativos —como la reducción del tiempo de ciclo y la disminución de errores— son evidentes y medibles. Sin embargo, detrás de estos avances emergen desafíos estructurales que deben abordarse desde una perspectiva integral.

Desde el ámbito administrativo, la automatización implica una reconfiguración profunda del modelo de gestión. La incorporación de sistemas ciberfísicos exige rediseñar flujos de trabajo, jerarquías internas y mecanismos de supervisión. Como señalan Peneder *et al.* [3], el incremento de productividad derivado

de la robótica depende de la capacidad organizativa para absorber y adaptar las nuevas tecnologías. A su vez, Hernández-Peña y Mejía-Trejo [5] destacan que la gestión del cambio debe ser activa, con liderazgo transformacional y un fortalecimiento sistemático de las competencias digitales del personal directivo. Estos cambios administrativos no solo modifican la lógica de producción, sino también las formas de toma de decisiones, que ahora deben fundamentarse en datos en tiempo real y considerar la interacción humano-máquina como un eje central.

En la dimensión social, la automatización genera tensiones vinculadas al empleo, la percepción de reemplazo y la necesidad de reconversión profesional. Si bien estudios como los de Graetz y Michaels [4] o Acemoglu y Restrepo [12] evidencian que la robotización tiende a desplazar tareas rutinarias, también abre nuevas oportunidades para trabajadores con mayor calificación. Este doble efecto, también observado en nuestro estudio, requiere políticas organizacionales orientadas a la formación continua, la participación del personal en los procesos de cambio y la consolidación de una cultura de adaptación. Tal como plantea Autor [13], el objetivo no consiste en evitar la automatización, sino en gestionar sus efectos mediante estrategias inteligentes y socialmente responsables.

Respecto a los retos de innovación emprendedora, este estudio identificó propuestas viables generadas por los propios trabajadores una vez alcanzado un dominio adecuado del sistema robotizado. Esta relación entre automatización e impulso emprendedor también ha sido documentada por Marasco *et al.* [14], quienes resaltan que la Industria 4.0 crea condiciones favorables para el surgimiento de nuevos modelos de negocio, como servicios de mantenimiento predictivo, desarrollo de interfaces inteligentes o impresión 3D de repuestos. No obstante, como advierten Kreutzer *et al.* [11], el liderazgo emprendedor en entornos automatizados no depende solamente de habilidades técnicas, sino también de visión estratégica, colaboración intersectorial y capacidad para gestionar la incertidumbre.

Si bien los beneficios operativos de la automatización han sido ampliamente validados en la literatura [2],[8], su impacto pleno solo se materializa cuando se abordan de manera simultánea los retos administrativos (gestión del cambio y rediseño organizacional), sociales (inclusión, formación y percepción laboral) y emprendedores (creación de valor a partir del nuevo entorno tecnológico). Como subraya la guía estratégica para la Industria 4.0 de Geissbauer *et al.* [9], el verdadero valor de la automatización radica en su integración coherente con las personas, los procesos y los propósitos de transformación sostenible.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio experimental evidencian que la implementación de un sistema robótico en una estación semiestructurada de ensamblaje genera mejoras operativas sustantivas. Se logró reducir el tiempo promedio de ciclo en un 34,6% y disminuir la variabilidad y los errores en más de un 90%, lo que demuestra que la automatización bien diseñada no solo incrementa la eficiencia, sino que estandariza procesos críticos y reduce la dependencia del desempeño humano individual.

Sin embargo, los beneficios técnicos no se materializan de forma aislada. El proceso de instalación, capacitación y adaptación reveló que la automatización introduce retos administrativos significativos, al exigir nuevas formas de gestión, control y supervisión de los sistemas de producción. Las organizaciones deben desarrollar capacidades para rediseñar procesos, liderar el cambio cultural y operar con estructuras más flexibles y orientadas al dato. La tecnología, por sí sola, no transforma; es la forma en que se articula con la estructura administrativa la que determina su impacto real.

En el plano social, el estudio mostró que la percepción del personal evoluciona positivamente cuando se les incluye desde etapas tempranas del proceso. Aunque surgieron temores iniciales sobre la pérdida de funciones, la experiencia directa con el sistema robótico generó confianza, aceptación y motivación. Este hallazgo confirma la importancia de la formación técnica, el acompañamiento y la comunicación clara como estrategias de inclusión tecnológica, especialmente en entornos donde el capital humano es clave para la sostenibilidad operativa.

Uno de los aportes más valiosos del estudio fue la identificación espontánea de ideas innovadoras por parte del equipo operativo, lo que demuestra que la automatización no reemplaza la creatividad humana, sino que puede catalizarla. El surgimiento de propuestas emprendedoras relacionadas con mantenimiento, desarrollo de interfaces o formación técnica evidencia que, cuando se brinda el entorno adecuado, los trabajadores pueden convertirse en agentes activos de innovación tecnológica.

La automatización y la robótica representan una oportunidad integral de transformación si se las

entiende no solo como tecnologías de eficiencia, sino como motores de cambio organizacional, inclusión social y dinamismo emprendedor. Su implementación debe ser estratégica, participativa y orientada al desarrollo de capacidades colectivas, para que la transformación digital sea también una transformación humana y sostenible.

## REFERENCIAS

- [1] G. Szabó-Szentgróti, B. Végvári, and J. Varga, "Impacto de la industria 4.0 y la digitalización en el mercado laboral para 2030: verificación de la predicción de keynes," *Sostenibilidad*, vol. 13, p. 7703, 2021, doi: 10.3390/su13147703.
- [2] P. A. Hancock, D. R. Billings, K. E. Schaefer, J. Y. Chen, E. J. De Visser, and R. Parasuraman, "A meta-analysis of factors affecting trust in human-robot interaction," *Human Factors*, vol. 53, no. 5, pp. 517–527, 2011.
- [3] A. Eder, W. Koller, and B. Mahlberg, "The contribution of industrial robots to labor productivity growth and economic convergence: A production frontier approach," *Journal of Productivity Analysis*, vol. 61, no. 2, pp. 157–181, 2024.
- [4] G. Graetz and G. Michaels, "Robots at work," *Review of Economics and Statistics*, vol. 100, no. 5, pp. 753–768, 2018, doi: 10.1162/rest\_a\_00754.
- [5] E. M. Garro, "La influencia de la tecnología en el liderazgo global: amplificando habilidades y capacidades en un entorno empresarial digitalizado," *e-Ciencias de la Información*, vol. 14, no. 2, p. 7, 2024.
- [6] Telefónica, "Automatización industrial: qué es y cómo mejora los procesos productivos," 2023, blog de Telefónica. Disponible en: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/blog/automatizacion-industrial-que-es/>.
- [7] B. Schefold, "The rarity of reswitching explained," *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 67, pp. 128–150, 2023, doi: 10.1016/j.strueco.2023.07.004.
- [8] S. Gong and C. Ding, "Can industrial robots improve labor productivity? evidence from chinese manufacturing firms," *Economic Modelling*, vol. 131, p. 106488, 2024, doi: 10.1016/j.econmod.2024.106488.
- [9] M. Geissbauer, V. Schrauf, A. Koch, and S. Kuge, "A strategist's guide to industry 4.0," *Strategy+Business*, no. 83, pp. 1–12, 2016.
- [10] A. Monostori, "Cyber-physical production systems: Roots, expectations and r&d challenges," *Procedia CIRP*, vol. 17, pp. 9–13, 2014, doi: 10.1016/j.procir.2014.03.115.
- [11] R. T. Kreutzer, F. Neugebauer, and A. Pattloch, *Digital Business Leadership: Digital Transformation, Business Model Innovation, Agile Organization, Change Management*. Springer, 2017.
- [12] D. Acemoglu and P. Restrepo, "Tasks, automation, and the rise in us wage inequality," *Econometrica*, vol. 87, no. 5, pp. 1393–1433, 2019, doi: 10.3982/ECTA17434.
- [13] J. Autor, "Why are there still so many jobs? the history and future of workplace automation," *Journal of Economic Perspectives*, vol. 29, no. 3, pp. 3–30, 2015.
- [14] E. Marasco, G. Baldegger, and A. E. Huarng, "The rise of entrepreneurial opportunities in the age of industry 4.0," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 184, p. 122011, 2022, doi: 10.1016/j.techfore.2022.122011.