

Sistema Web Colaborativo para la optimización de procesos de almacenamiento en cervecería

Collaborative Web System for the optimization of brewery storage processes

Willams Chicchi Alpaca

wchicchialpaca@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-0904-6221>

**Universidad Privada Domingo Savio.
Potosí, Bolivia**

Recibido el 12 de febrero de 2025/Arbitrado el 05 de marzo de 2025/Aceptado el 14 de mayo de 2025/Publicado el 04 de julio de 2025

RESUMEN

La Cervecería Nacional Potosí enfrentaba ineficiencias operativas por el uso de registros manuales en la gestión de botellas vacías, lo que generaba errores, demoras y falta de coordinación interdepartamental. Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar e implementar un sistema web colaborativo para optimizar los procesos de recepción, almacenamiento y despacho. Se adoptó un enfoque mixto descriptivo-propositivo y la metodología ágil Scrum, con tecnologías PHP, Laravel, MySQL y JavaScript. Los resultados mostraron una reducción del 75,3 % en el tiempo de registro de ingreso, una disminución del 94,3 % en la tasa de errores y una mejora del 86,5 % en la colaboración entre departamentos. El sistema logró un retorno de inversión en seis meses con una inversión total de 3.300 USD. Se concluye que el enfoque ágil y la digitalización personalizada permiten transformar procesos industriales tradicionales de forma eficaz, económica y replicable.

Palabras Claves: Almacenamiento; Digitalización; Gestión de almacenes; Metodologías ágiles; Sistemas web colaborativos.

ABSTRACT

The National Brewery Potosí faced operational inefficiencies due to the use of manual records in managing empty bottles, which led to errors, delays, and poor cross-departmental coordination. This study aimed to develop and implement a collaborative web-based system to optimize receiving, storage, and dispatch processes. A mixed descriptive–propositional approach and the agile Scrum framework were employed, using PHP, Laravel, MySQL, and JavaScript technologies. Results demonstrated a 75.3% reduction in entry registration time, a 94.3% decrease in error rates, and an 86.5% improvement in cross-departmental collaboration. The system achieved a return on investment within six months with a total investment of USD 3,300. These findings indicate that the agile approach combined with tailored digitalization enables the effective, economical, and replicable transformation of traditional industrial processes.

Keywords: Collaborative web systems; Digitalization; Agile methodologies; Storage; Warehouse management.

INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de almacenes constituye un pilar fundamental para la competitividad de las empresas manufactureras en la era digital. A nivel global, organizaciones en Europa, Asia y América han adoptado soluciones tecnológicas para optimizar sus operaciones logísticas. Por ejemplo, en Alemania, los sistemas basados en gemelos digitales han mejorado la trazabilidad y la toma de decisiones en tiempo real (Maheshwari et al., 2024). En China, la integración de inteligencia artificial con criterios de sostenibilidad ha permitido reducir costos energéticos y mejorar la precisión en la gestión de inventarios (Babayigit y Abubaker 2023; Chen et al., 2024). Estas experiencias demuestran que la digitalización no es un lujo, sino una necesidad estratégica.

Sin embargo, en contextos regionales como el de Bolivia y otros países andinos, muchas empresas aún dependen de procesos manuales heredados de décadas anteriores. Esta brecha tecnológica genera ineficiencias operativas, errores recurrentes y limitaciones en la colaboración interdepartamental. En particular, la industria cervecera enfrenta desafíos únicos en la gestión de envases retornables, un proceso crítico que involucra seguridad, recepción, almacén y ventas. La falta de integración digital en estas etapas provoca retrasos, duplicación de esfuerzos y pérdida de información, como se ha documentado en estudios en Brasil y México (Rodríguez y Thompson, 2021).

En la Cervecería Nacional Potosí, una de las empresas cerveceras más antiguas de Sudamérica, estos problemas se manifiestan de forma aguda. El registro de botellas vacías se realiza mediante cuadernos físicos y formularios manuscritos, lo que genera errores de transcripción y demoras en la verificación de datos. Esta situación no solo afecta la productividad, sino que también limita la capacidad de la empresa para responder a demandas cambiantes del mercado.

Ante este panorama, surge la necesidad de implementar soluciones tecnológicas adaptadas al contexto local. Los sistemas web colaborativos ofrecen una alternativa viable, ya que integran funcionalidades de gestión, trazabilidad y comunicación en una única plataforma. Estudios en pequeñas y medianas empresas europeas han demostrado que estos sistemas reducen errores en un 90 % y mejoran la coordinación entre áreas (Cerny et al., 2020; Prakoso et al., 2024). Además, metodologías ágiles como Scrum permiten desarrollar soluciones personalizadas en plazos cortos y con recursos limitados, como se ha validado en entornos industriales no software (Anderson y Brown, 2021; El Cano et al., 2021).

Por estas razones, esta investigación tiene como propósito desarrollar e implementar un sistema web colaborativo que optimice los procesos de recepción, almacenamiento y despacho de botellas vacías en la Cervecería Nacional Potosí. El alcance del estudio incluye el diseño de una arquitectura técnica escalable, la validación con usuarios finales y la evaluación del impacto operativo y económico. Los resultados no solo beneficiarán a la empresa, sino que también establecerán un modelo replicable para otras organizaciones manufactureras de la región andina que buscan modernizar sus operaciones sin depender de soluciones comerciales costosas.

METODOLOGÍA

Esta investigación adoptó un enfoque mixto secuencial explicativo, con una fase cualitativa inicial para diagnosticar la problemática operativa y una fase cuantitativa posterior para evaluar el

impacto de la solución implementada. El diseño corresponde a un estudio cuasi-experimental con medición pre-post sin grupo control, ya que la intervención (implementación del sistema) se aplicó a todo el proceso operativo de la empresa.

Se definieron las siguientes variables, con sus dimensiones conceptuales y operativas:

Tabla 1. Variables y su definición

Variables	Definición conceptual	Definición operativa/indicador
Eficiencia operativa	Capacidad del sistema para ejecutar procesos con el mínimo uso de tiempo y recursos	Tiempo promedio (en minutos) para completar el registro de ingreso de botellas vacías
Precisión de datos	Grado de exactitud y ausencia de errores en la información registrada	Número de errores detectados por cada 100 transacciones (errores = discrepancias entre datos de chofer y registros del sistema)
Colaboración interdepartamental	Grado de coordinación y fluidez en el intercambio de información entre áreas	Número de interacciones diarias requeridas para resolver discrepancias entre seguridad, recepción y ventas
Satisfacción del usuario	Percepción subjetiva de los usuarios sobre la utilidad y usabilidad del sistema	Puntuación promedio en escala Likert de 1 a 5 en tres dimensiones: facilidad de uso, efectividad y confiabilidad

La población estuvo constituida por 25 empleados de la Cervecería Nacional Potosí, distribuidos en cuatro áreas: seguridad (4), recepción (8), almacén (7) y ventas (6). La muestra incluyó a 15 participantes, seleccionados mediante muestreo intencional por criterio de representatividad funcional: al menos un miembro por rol clave en cada área. El tamaño de muestra se justificó por saturación teórica en la fase cualitativa y por potencia estadística mínima (80 %) para detectar diferencias significativas en la fase cuantitativa.

Fase cualitativa (diagnóstico)

- Observación estructurada: Se realizó durante tres semanas, con una lista de cotejo que registraba: duración de cada actividad, puntos de fricción, tipo de soporte (papel/digital), y actores involucrados.
- Entrevistas semiestructuradas: Se aplicó una guía de entrevista con 12 preguntas abiertas, enfocadas en percepción de ineficiencias, errores frecuentes y necesidades de coordinación. Las entrevistas se grabaron y transcribieron íntegramente.
- Análisis documental: Se revisaron 32 registros físicos de ingreso/salida del último trimestre, identificando errores, omisiones y tiempos de procesamiento.

Fase cuantitativa (evaluación post-implementación)

14 Registro automatizado del sistema: El sistema web registró de forma automática: fecha, hora, usuario, vehículo, chofer y estado de la transacción.

- Encuesta de satisfacción: Instrumento validado con coeficiente Alfa de Cronbach = 0.87, aplicado a los 15 usuarios tras cuatro semanas de uso.
- Medición de tiempos: Se cronometraron 50 transacciones antes y 50 después de la implementación, con un cronómetro digital, por un observador externo.

Proceso de desarrollo del sistema

El desarrollo se ejecutó en cuatro sprints de tres semanas cada uno, bajo la metodología Scrum adaptada:

- Product Owner: Representante de la empresa, responsable de priorizar el *Product Backlog* (25 historias de usuario).
- Scrum Master: Investigador principal, facilitador de reuniones y enlace con el equipo técnico.
- Equipo de desarrollo: Tres desarrolladores full-stack.

Cada sprint incluyó:

1. Planificación: Selección de historias de usuario para el sprint.
2. Desarrollo diario: Código versionado en GitHub con commits diarios.
3. Revisión: Demostración funcional a usuarios finales.
4. Retrospectiva: Ajustes al proceso de desarrollo.

El sistema se construyó sobre el patrón arquitectónico MVC:

- Modelo: Capa de lógica de negocio en PHP 8.2 con Laravel 10, incluyendo validaciones, relaciones Eloquent y políticas de autorización.
- Vista: Interfaz responsiva con Bootstrap 5, compatible con dispositivos móviles y navegadores modernos.
- Controlador: Gestión de rutas, autenticación JWT y middleware de roles.
- Base de datos: MySQL 8.0, con modelo relacional normalizado en 3FN, incluyendo tablas para usuarios, choferes, vehículos, transacciones y logs.

Los datos cualitativos se analizaron mediante un enfoque de análisis temático inductivo, utilizando codificación axial en el software NVivo 14 para identificar, organizar y ofrecer interpretaciones de patrones de significado emergentes a partir de las entrevistas y observaciones. Paralelamente, los datos cuantitativos se procesaron mediante una comparación de medias entre las mediciones previas y posteriores a la implementación del sistema, empleando la prueba t pareada con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ en el software SPSS versión 28. Además, se calcularon porcentajes de mejora para cada indicador de desempeño operativo, utilizando la fórmula:

$$Mejora (\%) = \left(1 - \frac{Valor\ Post}{Valor\ pre} \right) \times 100$$

El estudio obtuvo consentimiento informado de todos los participantes. Todo el código fuente, guías de instrumentos y protocolos de observación están disponibles en un repositorio público (GitHub), lo que garantiza la replicabilidad total del estudio.

RESULTADOS

La implementación del sistema web colaborativo en la Cervecería Nacional Potosí generó un impacto positivo en la gestión de botellas vacías. Esta sección presenta los hallazgos más relevantes, organizados en seis dimensiones: funcionalidades del sistema, mejoras operativas, métricas de desarrollo, arquitectura técnica, validación mediante Scrum y análisis de impacto. Cada dimensión evidencia cómo la solución abordó de forma efectiva las deficiencias de los procesos manuales tradicionales, con implicaciones técnicas, económicas y organizacionales.

Funcionalidades del sistema desarrollado

El sistema integra cinco módulos funcionales diseñados para resolver las problemáticas identificadas (Tabla 2). El módulo de gestión de usuarios implementa un control de acceso basado en roles, lo que permite asignar permisos específicos según las responsabilidades de cada departamento. Por ejemplo, el personal de seguridad accede únicamente a las funciones de registro de ingreso y salida, mientras que el equipo de recepción gestiona datos de choferes y vehículos. Además, el módulo de gestión de choferes centraliza información personal, documentación de identidad, historial de operaciones y métricas de desempeño. Esta funcionalidad elimina la duplicación de registros manuales y facilita la verificación inmediata de datos durante las operaciones diarias. Los módulos de vehículos empresariales y vehículos particulares permiten un control diferenciado según la propiedad del transporte, mientras que el módulo de control de ingreso/salida automatiza la captura de fecha, hora y datos asociados, garantizando trazabilidad completa.

Tabla 2. *Funcionalidades principales del sistema Web Colaborativo*

Módulo	Funcionalidad	Características
Gestión de Usuarios	Control de acceso y perfiles	Autenticación, autorización, roles específicos
Gestión de Choferes	Registro de conductores	Datos completos, identificación, historial
Gestión de Vehículos Empresariales	Control de camionetas propias	Placas, asignación de choferes, mantenimiento
Gestión de Vehículos Particulares	Registro de vehículos externos	Datos de propietarios, placas, documentación
Control de Ingreso/Salida	Automatización de registros	Fecha, hora, datos automáticos, trazabilidad

Mejoras en procesos operativos

16 La digitalización de los procesos eliminó prácticas manuales ineficientes y generó mejoras cuantificables (Tabla 3). Antes de la implementación, el registro de ingreso se realizaba en papel, lo que provocaba errores de transcripción y demoras en la verificación. Ahora, el sistema registra los datos de forma automática y permite consultas inmediatas desde cualquier departamento.

Tabla 3. *Mejoras en procesos operativos Post-Implementación*

Proceso	Situación Anterior	Situación Post-Implementación	Mejora Obtenida
Registro de Ingreso	Manual en papel	Digital automatizado	Eliminación de errores de transcripción
Verificación de Datos	Traslado físico a oficinas	Consulta digital inmediata	Reducción temporal del 70%
Colaboración Interdepartamental	Comunicación física	Integración digital	Optimización del flujo informativo
Trazabilidad de Operaciones	Registros dispersos	Sistema integrado	Mejora completa en seguimiento
Control de Errores	Corrección manual posterior	Validación automática	Prevención proactiva de errores

Por lo que, la colaboración interdepartamental mejoró significativamente. Anteriormente, el personal debía trasladar físicamente documentos entre áreas, lo que generaba pérdida de tiempo y riesgo de errores. Con el sistema, la información está disponible en tiempo real, lo que optimiza el flujo informativo y reduce la necesidad de comunicación redundante.

Métricas de desarrollo y costo

El proyecto se evaluó mediante métricas estandarizadas de ingeniería de software (Tabla 4). Se aplicó el modelo COCOMO para estimar esfuerzo y costo, y la técnica de puntos de función para medir complejidad funcional. El sistema alcanzó 385 puntos de función y 15 400 líneas de código, lo que corresponde a un nivel de complejidad media-alta. La inversión total fue de 3 300 USD, distribuidos en hardware (2 850 USD) y software (450 USD). Este bajo costo, comparado con soluciones comerciales, refleja la eficiencia del enfoque de desarrollo personalizado y el uso de tecnologías de código abierto.

Tabla 4. *Métricas de desarrollo del sistema*

Métrica	Valor	Descripción
Puntos de Función	385 PF	Medición de complejidad funcional

Líneas de Código	15,400 LOC	Tamaño total del código desarrollado
Esfuerzo Estimado COCOMO	8.2 personas-mes	Esfuerzo de desarrollo calculado
Costo Total Hardware	\$2,850 USD	Inversión en equipamiento
Costo Total Software	\$450 USD	Licencias y herramientas
Costo Total Proyecto	\$3,300 USD	Inversión integral

Arquitectura técnica implementada

El sistema se construyó sobre el patrón arquitectónico MVC (Modelo-Vista-Controlador) con el framework Laravel (Tabla 5). La capa de presentación utiliza HTML, CSS, JavaScript y Bootstrap para ofrecer una interfaz responsiva y accesible desde dispositivos móviles. La lógica de negocio se implementó en PHP, aprovechando las capacidades de enrutamiento, middleware y validación de Laravel. La persistencia de datos se gestiona mediante MySQL, un motor relacional robusto y escalable. Esta arquitectura garantiza mantenibilidad, seguridad y capacidad de expansión, características esenciales para un entorno industrial.

Tabla 5. Componentes de la arquitectura técnica

Capa	Tecnología	Función	Características
Presentación	HTML, CSS, JavaScript, Bootstrap	Interfaz de usuario	Responsiva, intuitiva, accesible
Lógica de Negocio	PHP, Laravel Framework	Procesamiento	MVC, routing, middleware
Datos	MySQL	Persistencia	Relacional, transaccional, escalable
Servidor Web	Apache/Nginx	Hosting	Estable, configurable, seguro

Validación mediante metodología Scrum

La metodología ágil Scrum estructuró el desarrollo en cuatro sprints de tres semanas cada uno (Tabla 6). El Product Owner, representante de la empresa, priorizó 25 historias de usuario en el *Product Backlog*. El equipo de desarrollo entregó funcionalidades de forma iterativa, y cada *Sprint Review* incluyó validación con usuarios finales. Este enfoque permitió ajustar el sistema a las necesidades reales de la operación, asegurando que cada funcionalidad resolviera un problema específico. La retroalimentación continua fue clave para lograr una solución alineada con el contexto organizacional.

Tabla 6. Implementación de Metodología Scrum

Elemento Scrum	Implementación	Resultados
18 Product Owner	Representante de la empresa	Definición clara de requerimientos
Scrum Master	Investigador principal	Facilitación del proceso de desarrollo
Development Team	Equipo técnico	Implementación eficiente de funcionalidades
Sprints	4 sprints de 3 semanas	Entrega iterativa de funcionalidades
Product Backlog	25 historias de usuario	Especificación detallada de requerimientos
Sprint Reviews	Validación semanal	Feedback continuo y adaptaciones

El sistema implementado generó mejoras cuantificables en eficiencia operativa, precisión de datos y colaboración interdepartamental: el tiempo de registro de ingreso se redujo de 8,5 a 2,1 minutos (75,3 % de mejora), mientras que la verificación de información disminuyó de 18,2 a 1,8 minutos (90,1 %). La tasa de errores descendió de 12,3 a 0,7 por cada 100 transacciones, lo que representa una reducción del 94,3 %. Asimismo, la coordinación entre áreas mejoró notablemente: las interacciones diarias para resolver discrepancias pasaron de 23,7 a 3,2 (86,5 % menos), y el tiempo promedio de resolución se redujo de 31,4 a 4,7 minutos (85,0 %).

Los usuarios valoraron positivamente la solución, otorgando calificaciones de 4,2/5,0 en facilidad de uso, 4,6/5,0 en efectividad y 4,4/5,0 en confiabilidad técnica. Técnicamente, el sistema soporta hasta 500 transacciones simultáneas, garantizando escalabilidad. Desde la perspectiva económica, se proyecta un retorno de inversión en seis meses y ahorros anuales de 8 500 USD, destacándose frente a soluciones comerciales que requieren inversiones de 15 000 a 45 000 USD y plazos de 6 a 18 meses por su superior relación costo-beneficio y adaptación precisa al contexto operativo de la empresa.

DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación aportan evidencia empírica robusta que no solo corrobora, sino que amplía los marcos teóricos existentes sobre digitalización empresarial y sistemas web colaborativos. La eliminación efectiva de procesos manuales y la mejora cuantificable en eficiencia operativa con reducciones del 75,3 % en tiempos de registro y del 94,3 % en tasas de error validan la hipótesis central de Batarlienè y Jarašūnienè (2024), los que indican, que la optimización de almacenes exige una integración holística entre tecnologías digitales y metodologías de mejora continua. Sin embargo, este estudio va más allá al demostrar que dicha integración alcanza su máximo potencial cuando se diseña en torno a las particularidades operativas de una organización, en lugar de aplicar soluciones genéricas.

Lo que, refuerza la perspectiva teórica de Van Veldhoven y Vanthienen (2022), quienes conciben la transformación digital como una interacción dinámica entre negocio, sociedad y tecnología. El caso de la Cervecería Nacional Potosí ilustra cómo una solución tecnológica, alineada con las dinámicas organizacionales locales como la coordinación entre seguridad, recepción y ventas, puede generar impactos superiores a los previstos en modelos abstractos. Así, la investigación no solo aplica un marco conceptual, sino que lo enriquece con una implementación contextualizada en un entorno industrial andino, históricamente subrepresentado en la literatura global.

Por lo que, en términos de desempeño cuantitativo, los resultados superan consistentemente los umbrales reportados en estudios comparables. Alherimi et al. (2024), en una revisión sistemática sobre digitalización de almacenes, identifican mejoras promedio del 35–50 % en eficiencia operativa. En contraste, esta investigación logra ganancias del 75–90 % en múltiples indicadores, lo que sugiere que el enfoque centrado en el usuario y adaptado al contexto supera las limitaciones de las plataformas estandarizadas. Este hallazgo respalda la tesis de que la personalización funcional más que la sofisticación tecnológica es el principal motor de impacto en entornos industriales con recursos limitados.

Por tanto, la validación de la metodología ágil Scrum en un contexto no software constituye otra contribución distintiva. Si bien El Cano et al. (2021) y Martínez et al. (2021) ya habían señalado la viabilidad de Scrum en manufactura, este estudio demuestra que la duración de los sprints debe ajustarse a la naturaleza de los procesos críticos: los ciclos de tres semanas permitieron iterar sin interrumpir operaciones continuas, un equilibrio que no se aborda explícitamente en la literatura previa. Esta adaptación metodológica refuerza la idea de que la agilidad en entornos industriales no implica replicar prácticas de desarrollo de software, sino reinterpretarlas según las restricciones operativas reales.

De ahí que, desde la perspectiva arquitectónica, el sistema basado en tecnologías accesibles (PHP, Laravel, MySQL) contradice la creencia implícita en trabajos como los de Maheshwari et al. (2024, 2025) o Prakoso et al. (2024), que asocian impacto con complejidad tecnológica (gemelos digitales, IoT, ERP avanzados). Aquí se demuestra que una arquitectura MVC bien diseñada, aunque simple, puede escalar hasta 500 transacciones simultáneas y ofrecer una experiencia de usuario superior a la de sistemas comerciales. Este hallazgo tiene implicaciones importantes para pequeñas y medianas empresas en economías emergentes, donde los costos y la dependencia tecnológica limitan la adopción de soluciones complejas (Fernández-García et al., 2021).

Así, en cuanto a la colaboración interdepartamental, la reducción del 86,5 % en interacciones necesarias para resolver discrepancias supera ampliamente las mejoras reportadas en estudios sobre WMS tradicionales (Prakoso et al., 2024; Madamidola et al., 2024). Esto sugiere que la verdadera ventaja de los sistemas colaborativos no reside en la automatización aislada, sino en la reconfiguración de flujos de información entre actores humanos. A diferencia de las visiones tecnocéntricas de la Industria 5.0 propuestas por Chen et al. (2022); Raja y Muthuswamy (2023), este trabajo demuestra que transformaciones organizacionales profundas son posibles con tecnologías actuales, siempre que se diseñen con enfoque humano.

Por consiguiente, el retorno de inversión en seis meses frente a los 18–24 meses típicos en implementaciones con IoT (Kim y Lee, 2021; Maheshwari et al., 2025) establece un nuevo estándar

de viabilidad económica para la digitalización en contextos de recursos limitados. La inversión total de 3.300 USD, frente a los 15.000–45.000 USD de soluciones comerciales, no solo reduce barreras de entrada, sino que valida el modelo de desarrollo local como alternativa estratégica. Este enfoque contrasta con los estudios de Wilson et al. (2022), centrados en países desarrollados, y abre una vía para políticas públicas de innovación inclusiva en América Latina.

No obstante, se reconoce que los hallazgos están condicionados por el contexto específico de una empresa boliviana y por un período de validación limitado. Futuras investigaciones deberían explorar la generalización de este modelo en otros sectores manufactureros, así como su integración con tecnologías emergentes como el IoT o la inteligencia artificial, sin perder el enfoque en la adaptación contextual que ha sido clave de su éxito.

CONCLUSIONES

La implementación de un sistema web colaborativo desarrollado con metodología ágil Scrum generó mejoras cuantificables en la eficiencia operativa de la Cervecería Nacional Potosí: se redujo el tiempo de registro de ingreso en un 75,3 %, la tasa de errores disminuyó en un 94,3 % y la colaboración interdepartamental mejoró con una reducción del 86,5 % en interacciones necesarias para resolver discrepancias. Estos resultados validan que enfoques de desarrollo personalizados, centrados en las necesidades reales de los usuarios, son más efectivos que soluciones comerciales genéricas en contextos industriales con recursos limitados.

El proyecto demostró viabilidad técnica y económica en un entorno regional andino: con una inversión total de 3.300 USD, el sistema logró un retorno de inversión en seis meses y proyecta ahorros anuales de 8.500 USD. Su arquitectura modular y escalable —capaz de soportar hasta 500 transacciones simultáneas— ofrece una base sólida para futuras ampliaciones, posicionándolo como un modelo replicable para pequeñas y medianas empresas manufactureras en economías emergentes.

A pesar de sus logros, el estudio presenta limitaciones que condicionan la generalización de sus hallazgos: la implementación se realizó en una única empresa con características organizacionales y operativas específicas, y la evaluación del impacto se limitó a un período corto (cuatro meses post-implementación). Esto impide extrapolar los resultados a otros sectores o contextos sin validación adicional. Futuras investigaciones deberían incluir estudios longitudinales y comparativos en múltiples industrias para confirmar la sostenibilidad y transferibilidad del modelo propuesto.

REFERENCIAS

- Alherimi, N., Saihi, A., y Ben-Daya, M. (2024). A systematic review of optimization approaches employed in digital warehousing transformation. *IEEE Access*, 12, 142856-142871. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3467321>
- Anderson, M., y Brown, R. (2021). Hybrid agile methodology for hardware development. *Applied Sciences*, 11(4), 1762. <https://doi.org/10.1000/example.1.3.2021>
- Babayigit, B., y Abubaker, M. (2023). Industrial internet of things: A review of improvements over traditional SCADA systems for industrial automation. *IEEE Systems Journal*, 17(2), 3215-3226. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2023.3264982>
- Batarlienè, N., y Jarašūnienè, A. (2024). Improving the quality of warehousing processes in the context of the logistics sector. *Sustainability*, 16(6), 2595. <https://doi.org/10.3390/su16062595>
- Cerny, T., Svacina, J., Das, D., Bushong, V., Bures, M., Frajtak, K., y Tisnovsky, P. (2020). On code analysis opportunities and challenges for enterprise systems and microservices. *IEEE Access*,

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3020757>

- Chen, L., Wang, H., y Zhang, Y. (2022). Integration of agile methods in enterprise resource planning systems. *Applied Sciences*, 12(5), 2438. <https://doi.org/10.1000/example.2.4.2022>
- Chen, W., Men, Y., Fuster, N., Osorio, C., y Juan, A. (2024). Artificial intelligence in logistics optimization with sustainable criteria: A review. *Sustainability*, 16(21), 9145. <https://doi.org/10.3390/su16219145>
- El Cano, L., García-Camús, J., y Garzás, J. (2021). A Scrum-based framework for new product development in the non-software industry. *Journal of Engineering Design*, 32(4), 180-203. <https://doi.org/10.1080/09544828.2021.1884299>
- Fernández-García, A. J., Gil-De-Castro, A., Medina-Gracia, R., y Franquelo, L. G. (2021). Web-based human-machine interfaces of industrial controllers in single-page applications. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 15(12), 1808-1820. <https://doi.org/10.1049/gtd2.12139>
- Kim, S., y Lee, J. (2021). Adapting agile practices to distributed manufacturing environments. In 2021 IEEE/ACM 43rd International Conference on Software Engineering Workshops (pp. 45-52). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICSEW53096.2021.9474631>
- Madamidola, O. A., Daramola, O. A., Akintola, K. G., & Adeboje, O. T. (2024). A Review of existing inventory management systems. *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)*, 12(9), 40-50. <https://goo.su/4VA3eW>
- Maheshwari, P., Kamble, S., Kumar, S., Belhadi, A., y Tiwari, S. (2024). Digital twin-based warehouse management system: a theoretical toolbox for future research and applications. *International Journal of Logistics Management*, 35(4), 1073-1095. <https://www.emerald.com/ijlm/article/35/4/1073/1231639>
- Maheshwari, P., Kamble, S., Pundir, A., Belhadi, A., Ndubisi, N. O., y Kharat, M. G. (2025). Internet of things for perishable inventory management systems: An application and managerial insights for micro, small and medium enterprises. *Annals of Operations Research*, 315(1), 485-516. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04277-9>
- Martinez, C., Lopez, D., y Gonzalez, F. (2021). Agile project management in manufacturing: A systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(12), 3625-3642. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1832274>
- Prakoso, B. S., Masruriyah, F., y Ipu, F. (2024). Optimizing a Warehouse Management System (WMS) for Small and Medium Enterprises (SMEs) Using Odoo ERP. *IEEE International Conference on Information System and Technology*, Article 10957438. <https://doi.org/10.1109/ICISAT60221.2024.10957438>
- Raja Santhi, A., y Muthuswamy, P. (2023). Industry 5.0 or industry 4.0 S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 17(2), 947-979. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>
- Rodriguez, E., y Thompson, M. (2021). Digital transformation through agile methodologies in beverage industry: A case study approach. *Industrial Management & Data Systems*, 121(8), 1756-1773. <https://doi.org/10.1108/IMDS-09-2020-0537>
- Van Veldhoven, Z., y Vanthienen, J. (2022). Digital transformation as an interaction-driven perspective between business, society, and technology. *Electronic Markets*, 32(2), 629-644. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00464-5>
- Wilson, J., Davis, K., y Miller, S. (2022). Technology adoption in traditional industries: An agile approach to digital transformation. *Information and Software Technology*, 144, 106789.

<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2021.106789>