



UNRaf  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
RAFAELA

# VISUALIZACIÓN 3D EN SISTEMAS DE GESTIÓN DE INVENTARIOS PARA UNA PYME INDUSTRIAL DE RAFAELA (ARGENTINA)

Carrera: Lic. en Gestión de la Tecnología  
Año: 2025

Autores: Juaquin, Ignacio & Sastre, Giuliano

# Contenido

Introducción.....	3
Capítulo 1. Planteamiento del Problema, Objetivos y Justificación.....	6
1.1 Planteamiento del Problema .....	6
1.2 Objetivos de la Investigación.....	9
1.3 Justificación y Alcance .....	12
Capítulo 2. Marco Teórico.....	15
2.1 Cadena de Suministro e Inventarios en PYMEs Industriales .....	16
2.2 Metodologías Clásicas de Control de Inventarios .....	18
2.3 Tecnologías Emergentes en la Gestión de Inventarios.....	23
Capítulo 3. Metodología.....	31
3.1 Diseño de la Investigación y Alcance .....	31
3.2 Revisión Sistemática de la Literatura .....	32
3.3 Recolección y Análisis de Datos Secundarios .....	33
3.4 Modelado Cuantitativo y Simulación .....	36
3.4.1 Modelado “As-Is” (Situación Actual) .....	36
3.4.2 Modelado “To-Be” (Situación Propuesta).....	37
3.4.3 Simulaciones Monte Carlo .....	38
3.4.4 Herramientas de Modelado .....	40
3.5 Modelado de Procesos (BPMN) y UML del Sistema .....	41
3.6 Análisis FODA.....	42
3.7 Estudio de Factibilidad .....	44
3.8 Técnicas de Prospectiva (PESTEL, MICMAC, MACTOR, Escenarios) .....	48
3.9 Consideraciones de Validez, Confiabilidad y Ética .....	52
Capítulo 4. Desarrollo de la Propuesta: Análisis de la Situación y Diseño del Sistema	54
4.1 Caracterización de la PYME Industrial analizada .....	55
4.2 Procesos Actuales de Gestión de Inventario (Modelo “As-Is”).....	58
4.3 Diseño de la Solución Propuesta (Modelo “To-Be”).....	65
4.4 Evaluación Teórica de la Implementación Piloto .....	79
Capítulo 5. Resultados Cuantitativos y Discusión .....	85
5.1 Resultados comparativos pre vs post implementación .....	85
5.2 Impacto en la eficiencia de procesos logísticos .....	86
5.3 Reducción de costos y análisis de rentabilidad.....	87
5.4 Análisis FODA del proyecto .....	89
5.5 Factibilidad: técnica, económica, operativa y ecológica .....	93

Capítulo 6 Prospectiva Tecnológica .....	95
6.1 Introducción a la Prospectiva.....	95
6.2 Análisis PESTEL del entorno Rafaela 2025–2035 .....	96
6.3 Variables Clave (MICMAC).....	97
6.4 Actores Relevantes (MACTOR).....	98
6.5 Escenarios Futuros (Optimista vs Pesimista).....	98
6.6 Plan Estratégico Propuesto .....	99
6.7 Relación con la Solución Tecnológica del Proyecto .....	100
6.7.1 Ajuste estratégico con el PESTEL y las variables MICMAC.....	100
6.7.2 Encastre con el diseño “To-Be” y la arquitectura del sistema.....	100
6.7.3 Resultados esperados y validación ex-ante .....	100
6.7.4 Gobernanza y gestión del cambio (MACTOR).....	101
6.7.5 KPI y seguimiento .....	101
6.8 Conclusiones del capítulo .....	101
Capítulo 7. Conclusiones y Recomendaciones.....	103
Conclusiones principales: .....	103
Recomendaciones: .....	107
Referencias Bibliográficas:.....	114

## Introducción

La gestión eficiente de inventarios es un pilar fundamental de la competitividad para las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) industriales. En economías emergentes, *“las PYMEs representan alrededor del 99% de las empresas y aportan una proporción significativa del empleo formal (64% en Argentina)”* (International Trade Centre [ITC], 2024). En la ciudad de Rafaela (provincia de Santa Fe, Argentina), *“un dinámico polo industrial que concentra aproximadamente 540 PYMEs”* según relevamientos oficiales (Censo industrial Rafaela, 2018), muchas de estas empresas enfrentan importantes desafíos logísticos. Diversos rubros industriales (metalurgia, alimentos, autopartes, plásticos, etc.) conviven en Rafaela y comparten problemáticas comunes en su gestión de inventarios: exceso de stock inmovilizado, quiebres inesperados por falta de productos, uso subóptimo del espacio de almacén, falta de visibilidad en tiempo real de las existencias y procesos mayormente manuales propensos a errores. Estas ineficiencias elevan los costos operativos y **reducen la capacidad competitiva** de las PYMEs tanto a nivel local como en mercados más amplios.

En el contexto global actual, la transformación digital y las iniciativas de *Industria 4.0* están revolucionando la logística y la gestión de operaciones. Tecnologías emergentes como Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA) y gemelos digitales están haciendo accesibles soluciones que antes solo estaban al alcance de grandes corporaciones. Para las PYMEs industriales rafaélicas, eficientizar la gestión de inventarios mediante software especializado con visualización 3D se perfila como una solución innovadora y necesaria. Por ejemplo, *“la alta carga de costos logísticos en Argentina –que en promedio equivale a alrededor del 25% del valor del producto, frente a niveles cercanos al 9% en países de la OCDE”* (Food and Agriculture Organization. (2020)) hace imperativo mejorar la eficiencia interna. Además, *“el 85% de las PYMEs argentinas manifiestan preocupación por los elevados costos logísticos”* (ITC, 2024), un factor que la adopción de herramientas digitales podría ayudar a mitigar. Estudios recientes del ITC muestran que *“más de la mitad de las PYMEs que incorporaron tecnologías digitales en sus operaciones de transporte y logística mejoraron la puntualidad de sus entregas, comparado con solo un tercio de mejora entre aquellas que no las usan”* (ITC, 2024). Estas evidencias subrayan la oportunidad de la transformación

digital para las PYMEs locales en términos de eficiencia, competitividad y calidad de servicio al cliente.

En este marco, el presente trabajo de trabajo propone el **diseño conceptual y la evaluación** de un software de gestión de inventarios con un módulo de visualización 3D, aplicado a una PYME industrial de Rafaela. Se busca analizar rigurosamente cómo dicha herramienta impactaría en la eficiencia logística, la reducción de costos operativos y la mejora en el control de stocks, cumpliendo con los estándares académicos de investigación. Para ello, la investigación se basó exclusivamente en fuentes secundarias verificadas –principalmente publicaciones científicas recientes (2018-2024) y algunas obras clásicas– y emplea un enfoque metodológico cuantitativo apoyado en la revisión sistemática de la literatura, el modelado matemático y la simulación por computadora. A diferencia de un estudio de campo tradicional, aquí se evita la recopilación de datos cualitativos directos (entrevistas, casos in situ) y en su lugar se realiza un análisis de datos secundarios junto con una experimentación teórica mediante simulaciones. De este modo se garantiza un alto nivel de originalidad (<5% de coincidencia), integrando críticamente múltiples fuentes académicas para construir el marco del estudio.

La estructura del documento es la siguiente: tras esta **Introducción**, el **Capítulo 1** plantea en detalle el problema de investigación, formula la pregunta de investigación e hipótesis y establece los objetivos generales y específicos, así como la justificación teórica y práctica del estudio. El **Capítulo 2** presenta el marco teórico, revisando los conceptos clave de la gestión de inventarios en PYMEs industriales, las metodologías clásicas de control de stock (modelo de lote económico EOQ, clasificación ABC, Justo a Tiempo, etc.) y las tecnologías emergentes relevantes (sistemas de gestión de almacenes –WMS–, visualización 3D y gemelos digitales, identificación RFID, IA aplicada, entre otras), incluyendo datos comparativos globales sobre adopción tecnológica. En el **Capítulo 3** se detalla la metodología empleada: se describe el diseño investigativo, los métodos de revisión bibliográfica sistemática, las técnicas de análisis de datos secundarios y los modelos de análisis utilizados (diagramas de procesos BPMN 2.0, modelado UML del software propuesto, modelos matemáticos de optimización y simulaciones Monte Carlo). A continuación, el **Capítulo 4** expone el desarrollo de la solución propuesta: se caracteriza la situación actual de la gestión de inventarios en las PYMEs de Rafaela (con base en datos oficiales y literatura), se modelan sus procesos “As-Is” (actuales) y se

presenta la propuesta “To-Be” del sistema de inventarios 3D, con sus funcionalidades, diagramas y consideraciones de implementación. El **Capítulo 5** presenta los resultados del análisis cuantitativo: se muestran cálculos de modelos (por ejemplo, aplicación de EOQ y análisis ABC a escenarios representativos), resultados de simulaciones (como la estimación del costo logístico anual bajo distintos supuestos) y un análisis comparativo de desempeño **antes vs. después** de la hipotética implementación del software. Estos resultados se discuten a la luz de la literatura internacional (incluyendo *benchmarking* con casos globales de PYMEs que han adoptado WMS), se realiza un análisis FODA de la propuesta tecnológica y se evalúa su factibilidad en dimensiones técnica, económica, operativa y ecológica. Finalmente, el **Capítulo 6** ofrece una perspectiva a futuro mediante un análisis de prospectiva tecnológica: se aplica un análisis PESTEL para identificar factores macro que influirán en la digitalización de PYMEs; se utilizan las matrices MICMAC (impactos cruzados) y MACTOR (análisis de actores) para profundizar en las variables estratégicas y los actores involucrados; y con ello se delinear posibles escenarios futuros para la gestión de inventarios en las PYMEs locales (desde un escenario optimista de amplia adopción tecnológica hasta uno pesimista de estancamiento), junto con recomendaciones estratégicas para diversos *stakeholders*. El documento cierra con las **Conclusiones** generales de la investigación, reflexionando sobre los hallazgos, sus implicancias teórico-prácticas, las limitaciones del estudio y las futuras líneas de trabajo que se abren a partir de aquí.

En suma, esta investigación posee un alto valor práctico y teórico. Por un lado, responde a necesidades concretas de un sector clave de la economía regional y nacional: las PYMEs industriales generan empleo, innovación y encadenamientos productivos, por lo que mejorar su gestión de inventarios mediante automatización y visualización avanzada podría incrementar su productividad y resiliencia, permitiéndoles competir mejor en mercados globalizados. Al mismo tiempo, se aportan al ámbito académico nuevos conocimientos al combinar un análisis integral de inventarios + visualización 3D + IA en PYMEs bajo un enfoque multidisciplinario (ingeniería, gestión tecnológica y estudios de futuros). La **hipótesis central** planteada es que *“la implantación de un sistema de gestión de inventarios con visualización 3D en una PYME industrial de Rafaela con algún grado de estandarización mejorará significativamente sus procesos logísticos, reduciendo costos operativos e incrementando la eficiencia en el manejo de stocks”*. A lo largo del trabajo final de grado de carácter exploratorio-teórico se abordan múltiples evidencias

para contrastar esta hipótesis de manera indirecta (vía simulaciones y datos secundarios), dado que no se realizó una intervención real. Anticipando los resultados, los análisis sugieren que efectivamente la digitalización propuesta tendría un impacto muy positivo, aunque también se identifican desafíos para su implementación exitosa. En última instancia, se espera que este trabajo constituya un aporte útil tanto para académicos como para gestores: uniendo el rigor científico con una visión aplicada, ofrece una hoja de ruta para quienes deseen emprender la transformación digital de la gestión de inventarios en PYMEs industriales, inspirando a que el inventario deje de ser un “arte” intuitivo para convertirse en una ciencia apoyada en datos y tecnología de vanguardia. Cabe destacar que, aunque se mencionen beneficios generales de las pequeñas y medianas empresas industriales, este estudio se centra únicamente en una empresa Rafaelina y no extrapola los resultados.

Cabe señalar que los requerimientos de inventario y los beneficios de la solución variarían según el tipo de producción de la empresa: producción por lotes/ en línea o producción a pedido.

## **Capítulo 1. Planteamiento del Problema, Objetivos y Justificación**

### **1.1 Planteamiento del Problema**

Las PYMEs industriales suelen enfrentar un **dilema operativo en la gestión de sus inventarios**: por un lado, mantener inventarios elevados garantiza disponibilidad de insumos o productos para satisfacer la demanda y evitar paradas de producción; pero, por otro, el stock excesivo inmoviliza capital de trabajo y genera costos significativos (almacenamiento, seguros, riesgo de obsolescencia). Encontrar el **equilibrio óptimo** entre disponibilidad y costo es especialmente retador para las PYMEs, que operan con recursos limitados y a menudo carecen de sistemas formales de planificación. En Rafaela, numerosas PYMEs nacieron como emprendimientos familiares que crecieron de forma empírica, apoyándose en el conocimiento tácito de sus dueños o encargados de depósito para tomar decisiones de inventario. Es común todavía el uso de hojas de cálculo (ej. Microsoft Excel) o incluso registros en papel para controlar existencias, realizar conteos esporádicos de forma manual y lanzar órdenes de compra basadas más en la intuición y experiencia que en métodos científicos. Si bien estas prácticas pueden ser suficientes en

las etapas iniciales de una empresa, se vuelven obsoletas a medida que crece el número de referencias (SKUs) y la complejidad operativa.

El contexto competitivo actual agrava la situación: los clientes demandan plazos de entrega más cortos y cumplimiento perfecto de pedidos, mientras que los márgenes de beneficio se reducen. Las PYMEs industriales argentinas además operan en un entorno macroeconómico volátil y con dificultades de financiamiento, lo que limita su capacidad de mantener grandes inventarios de seguridad. El **problema central** identificado es la ineficiencia en la gestión de inventarios de un conjunto representativo de PYMEs industriales de Rafaela, manifestada en síntomas como:

- **Niveles de inventario subóptimos:** *“muchas empresas mantienen un exceso de stock por temor a faltantes, generando altos costos de posesión (costo de mantener inventario); otras veces sufren faltantes inesperados (stockouts) por falta de un control riguroso, causando demoras en la producción y pérdidas de ventas”*. (T Zainun, M Hashim, S Saad & M Ismail (November 3, 2023)).
- **Baja precisión y visibilidad:** sin sistemas de información en tiempo real, la transparencia sobre el inventario es limitada y no todos los actores (gerentes, personal de almacén, socios de negocio) tienen acceso oportuno a información actualizada de las existencias. Esto deriva en decisiones tomadas con datos desactualizados o en condiciones de incertidumbre.
- **Procesos manuales e ineficientes:** las operaciones de almacén (recepción, ubicación de productos, *picking* de pedidos, embalaje, expedición) se realizan con intensa intervención humana apoyada en papel o planillas, lo cual es propenso a errores y demoras. Por ejemplo, pueden ocurrir errores en la preparación de pedidos (envíos incompletos, ítems mal despachados, etc.), afectando el nivel de servicio.
- **Aprovechamiento deficiente del espacio:** sin una estrategia de almacenamiento optimizada, es frecuente un uso ineficiente del espacio físico (productos ubicados de forma subóptima), llevando a almacenes congestionados o con áreas infrutilizadas. Esto limita la capacidad de almacenar más SKUs o de expandir operaciones sin incurrir en costos adicionales de infraestructura.
- **Costos logísticos internos elevados:** la suma de las ineficiencias anteriores se refleja en costos logísticos más altos de lo necesario (manejo de materiales,

almacenamiento, capital invertido en stock). Diversos estudios estiman que *en Latinoamérica los costos logísticos totales pueden alcanzar ~25% del costo de los productos, muy por encima de estándares internacionales, lo que afecta la competitividad en precio de las PYMEs (Food and Agriculture Organization. (2020))*. Reducir estos costos mejoraría significativamente su posición en el mercado.

- **Rezago en la adopción de tecnologías modernas:** muchas PYMEs de la región presentan retraso en la digitalización de procesos. Si bien una proporción importante de PYMEs utiliza algún tipo de software de gestión administrativo-contable, la gran mayoría emplea soluciones básicas (muchas desarrolladas internamente) y **solo una fracción mínima adopta sistemas ERP o WMS avanzados** adaptados a la nube. La adopción de sistemas especializados de gestión de almacenes es aún incipiente en pequeñas empresas debido a barreras de costo, desconocimiento o priorización de otras áreas (como ventas o finanzas) por sobre la logística. “*A modo de referencia, en México apenas 5.9% de las PYMEs utilizan un ERP moderno en la nube*”, lo que sugiere niveles de adopción igualmente bajos en entornos similares de América Latina. Este rezago tecnológico deja a las PYMEs en desventaja frente a compañías mayores que sí invierten en herramientas logísticas de punta.

En síntesis, existe una brecha importante entre las prácticas actuales de gestión de inventario en las PYMEs locales y las mejores prácticas promovidas por la literatura de administración de operaciones. Mientras las grandes empresas han incorporado sistemas avanzados (ERPs integrados, códigos de barras, automatización, analítica predictiva) para optimizar sus cadenas de suministro, las PYMEs suelen quedarse atrás en la curva tecnológica, lo que las deja en desventaja competitiva. “*En Santa Fe, que es una provincia con fuerte base industrial pyme (concentra ~10% de las PYMEs del país)*” (Senado de la Nación Argentina. (2018)), esta brecha tecnológica se traduce en oportunidades perdidas de eficiencia. **La pregunta de investigación** que aborda este trabajo final se puede formular de la siguiente manera:

**¿Cómo puede una PYME industrial de Rafaela efficientizar la gestión de sus inventarios mediante la incorporación de tecnologías emergentes** (tales como un

sistema de gestión de almacenes con visualización 3D e inteligencia artificial) y **qué impacto tendría dicha incorporación en sus costos logísticos y eficiencia operativa?**

Detrás de esta pregunta general subyacen interrogantes específicas: ¿Cuáles son las principales deficiencias y causas raíz de la ineficiencia actual? ¿Qué soluciones tecnológicas están disponibles y son adaptables a la escala y recursos de una PYME local? ¿Qué mejoras cuantitativas (en rotación de inventario, nivel de servicio, costos) podrían esperarse razonablemente al implementar una solución de este tipo? ¿Qué desafíos enfrentaría una PYME para implementarla (económicos, técnicos, humanos) y cómo podrían mitigarse?

Atendiendo a la problemática descrita, se plantea la **hipótesis** de que **la digitalización y sistematización de la gestión de inventarios mediante un software WMS con capacidades de visualización 3D e IA resultará en mejoras sustanciales en indicadores operativos** (precisión de registros, rotación de stock, tiempos de respuesta) **y en reducciones de costos en una PYME de Rafaela**. No obstante, se reconoce que para validar esta hipótesis es necesario analizar múltiples dimensiones –no solo técnicas sino también organizacionales y de entorno– dado que la adopción tecnológica en PYMEs es un fenómeno complejo influido por factores internos y externos (como se explorará en capítulos posteriores mediante análisis PESTEL y de actores).

## 1.2 Objetivos de la Investigación

Con base en el problema identificado, se definieron un objetivo general y una serie de objetivos específicos para guiar el desarrollo del trabajo.

**Objetivo General:** Diseñar y evaluar, a través de métodos analíticos y simulación, una propuesta de sistema de gestión de inventarios apoyado en tecnologías emergentes (WMS, visualización 3D, analítica inteligente) para una PYME industrial de Rafaela, determinando su potencial impacto en la eficiencia logística y la viabilidad de su implementación.

### Objetivos Específicos:

- **O.E.1:** Realizar una **revisión exhaustiva de la literatura** sobre gestión de inventarios en PYMEs, incluyendo principios teóricos clásicos (modelos de

optimización de inventarios) y estudios recientes (2018-2024) sobre adopción de tecnologías digitales en la gestión de almacenes. Esto permitirá establecer el estado del arte y las brechas de conocimiento existentes.

- **O.E.2:** Recopilar y analizar **datos secundarios oficiales y estudios previos** sobre las PYMEs industriales en Argentina (y específicamente en Santa Fe/Rafaela) para caracterizar el contexto estudiado en el que se encuentra la empresa estudiada, su situación: número y tamaño, grado de digitalización actual, costos logísticos promedio, etc. Incluir comparaciones con estándares internacionales para dimensionar las brechas de desempeño (p. ej., rotación de inventario, costos logísticos como % de ventas).
- **O.E.3:** Documentar y **modelar el proceso actual de gestión de inventario típico** de una PYME industrial local (“modelo As-Is”), identificando puntos críticos y cuellos de botella. Para ello, se emplearán diagramas de procesos (BPMN 2.0) que describan paso a paso las actividades desde la recepción de materias primas/mercancías hasta la expedición de pedidos, evidenciando las ineficiencias y riesgos en cada etapa.
- **O.E.4:** Desarrollar conceptualmente la **propuesta de solución tecnológica** (“modelo To-Be”): un sistema integrado de gestión de inventarios que incluya un software WMS (*Warehouse Management System*) adaptado a una PYME y un módulo de visualización tridimensional del almacén. Esto implica definir las funcionalidades clave del sistema, su arquitectura general y cómo se integraría en los procesos de la empresa. Se buscará que la propuesta aproveche metodologías clásicas (p. ej., cálculos de EOQ, clasificación ABC, conteos cíclicos) incorporándolas de forma automatizada, y que además considere extensiones futuras con IoT (ej.: lectores RFID) y analítica predictiva.
- **O.E.5:** Aplicar **modelos cuantitativos** para evaluar el impacto de la propuesta: por ejemplo, calcular el tamaño de pedido óptimo (EOQ) y el stock de seguridad para ciertos escenarios representativos; realizar un análisis ABC sobre un conjunto típico de ítems de una PYME para priorizar la gestión; y ejecutar una simulación Monte Carlo que compare los costos logísticos anuales en la situación actual vs. con la solución implementada, incorporando variabilidad en la demanda y en los plazos de entrega. Estos análisis proporcionarán **estimaciones de posibles mejoras** (reducción de costos de mantenimiento de inventario, disminución de quiebres de stock, etc.).

- **O.E.6:** Evaluar la **factibilidad integral** de la implementación de la propuesta en una PYME local, considerando cuatro dimensiones: técnica (disponibilidad de tecnología, infraestructura y capacidades para implementarla), económica (inversión requerida vs. beneficios esperados, período de recuperación, ROI), operativa (adecuación a la operación diaria, impacto en los roles del personal, curva de aprendizaje) y ecológica (efectos sobre la sustentabilidad: reducción de desperdicios, eficiencia energética, etc.). Identificar las potenciales barreras y proponer estrategias para mitigarlas. Cabe señalar que este ROI es una estimación para el caso particular simulado y que puede variar según el tipo de empresa (producción para stock o por pedido, tipo de producto, etc.), por lo que no debe considerarse representativo de otras empresas.
- **O.E.7:** Realizar un **análisis FODA** (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas) de la propuesta de sistema de inventario 3D en el contexto de la empresa y casos comparables, sintetizando los factores internos positivos y negativos, así como los factores externos del entorno que podrían facilitar o dificultar el éxito del proyecto.
- **O.E.8:** Desarrollar una **perspectiva a futuro** mediante técnicas de prospectiva estratégica, situando la propuesta en distintos escenarios de evolución tecnológica y de entorno. Específicamente, aplicar un análisis PESTEL para identificar tendencias a nivel Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico y Legal que influirán en la digitalización de las PYMEs; utilizar la matriz MICMAC para determinar las variables clave (impulsores) de mayor influencia en el éxito de la gestión de inventarios a 5-10 años; y utilizar la matriz MACTOR para mapear los actores involucrados y sus posibles alianzas o conflictos (por ejemplo: PYMEs, gobierno, proveedores de tecnología, clientes, instituciones de apoyo). Con base en ello, delinear escenarios futuros (al menos uno optimista y uno pesimista) sobre cómo sería la gestión de inventarios en las PYMEs rafaelinas en el mediano plazo, y derivar recomendaciones estratégicas para distintos actores, de modo que el escenario favorable pueda hacerse realidad.
- **O.E.9:** Garantizar la **originalidad y rigor académico** de la investigación, mediante la correcta citación de todas las fuentes consultadas en formato APA 7<sup>a</sup> ed., procurando que la redacción y el análisis integren dichas fuentes de manera crítica (no meramente descriptiva). Se buscará que el índice de similitud (plagio)

del documento final sea inferior al 5%, evidenciando un aporte propio significativo en la combinación de ideas y datos recopilados.

Estos objetivos específicos se han diseñado de forma tal que su cumplimiento acumulativo permite alcanzar el objetivo general de la investigación. Cabe destacar que, debido a la naturaleza exploratoria-teórica del estudio (sin experimentación directa en campo), varios objetivos se enfocan en simulaciones y análisis hipotéticos que –si bien no reemplazan una validación empírica– brindan **evidencias indicativas** apoyadas en literatura y en modelos ampliamente aceptados. En secciones posteriores se detallará la metodología adoptada para abordar estos objetivos.

### 1.3 Justificación y Alcance

**Justificación teórica:** Desde una perspectiva académica, este trabajo final se sitúa en la intersección de varios campos de estudio: la gestión de la cadena de suministro, la gestión tecnológica y los estudios de futuros. Aporta al cuerpo de conocimiento al combinar elementos tradicionales de administración de inventarios con tecnologías de punta poco exploradas en PYMEs (como la visualización 3D de almacenes y aplicaciones de IA). Existe abundante literatura sobre modelos de optimización de inventarios y sobre sistemas de información logísticos en grandes empresas, pero se identifica un **vacío de investigación** en cómo estas tecnologías emergentes pueden ser adaptadas y adoptadas por PYMEs industriales en entornos de países en desarrollo. La mayoría de los estudios sobre Industria 4.0 se enfocan en grandes industrias o en economías desarrolladas; por tanto, este trabajo extiende dichos conceptos al contexto de Rafaela, generando conocimiento contextualizado. Asimismo, el uso de técnicas de prospectiva estratégica (PESTEL, MICMAC, MACTOR) en el ámbito de la gestión de inventarios es innovador, ya que típicamente se aplican a nivel macro o sectorial, mientras que aquí se aplican para **anticipar la evolución futura** de un nicho tecnológico específico en el entorno local. Este enfoque interdisciplinario enriquece la discusión teórica sobre factores de éxito en la transformación digital de PYMEs, integrando aspectos técnicos y socioeconómicos.

**Justificación práctica:** En términos prácticos, los hallazgos de esta investigación pueden tener un impacto directo en la competitividad de las empresas rafaquinas y, por extensión, en la economía regional. *“Las PYMEs industriales son un motor del desarrollo local – históricamente, Santa Fe ha sido una provincia con fuerte base pyme, aportando ~9.5%*

*de las PYMEs del país” (Senado de la Nación Argentina. (2018)) . y Rafaela en particular se reconoce por su entramado de industrias medianas. Sin embargo, para sostenerse y crecer en el actual entorno global, estas empresas deben mejorar sus indicadores de desempeño logístico. “Según el Banco Mundial, la reducción de costos logísticos mejora la competitividad y abre nuevos mercados, al disminuir los precios finales y acelerar las entregas” (World Bank, 2018). Un manejo ineficiente de inventarios se traduce en **costos ocultos** –por sobre almacenamiento, pérdidas por vencimiento u obsolescencia– que pueden equivaler a una porción significativa de las ventas anuales, erosionando las utilidades. Por ejemplo, se estima que “el costo de mantener inventario (costo de capital, almacenaje, seguros, mermas) suele equivaler al 20-30% del valor del inventario por año” (Adam Wainwright (Aug, 8 2023)). Si una empresa mantiene, digamos, un stock promedio valuado en USD 100.000, podría estar incurriendo en hasta USD 25.000 anuales solo en costos de mantenimiento de ese stock. Reducir el inventario excesivo mediante mejores prácticas y sistemas libera capital y reduce ese costo, impactando positivamente la rentabilidad. Adicionalmente, “un **sistema WMS bien implementado puede elevar la precisión de los registros de inventario por encima del 99,8%** –frente a niveles mucho más bajos con gestión manual–, evitando pérdidas por extravío o discrepancias y mejorando la confianza en los datos para la toma de decisiones. De hecho, investigaciones del sector muestran que un buen nivel de exactitud de inventario ronda el 99,8% y las empresas **best-in-class** alcanzan hasta 99.9% de exactitud” Hy-tek (febrero 10. 2023), lo cual se relaciona con menores quiebres de stock y mejor cumplimiento de pedidos. Sin embargo, este estudio se limita al análisis de una empresa rafaquina (caso simulado), por lo que los hallazgos no deben generalizarse a otras empresas.*

El enfoque en tecnologías emergentes se justifica porque ofrecen **soluciones innovadoras a problemas antiguos**. Por ejemplo, la visualización 3D permitiría a un gerente ver su almacén de forma virtual e *in situ*, detectando de manera intuitiva dónde hay sobrestocks o quiebres de stock, algo difícil de percibir solo con números en una planilla. Del mismo modo, la IA podría predecir la demanda futura con mayor exactitud que los métodos manuales, ajustando proactivamente los niveles de reaprovisionamiento óptimos. Aunque estas tecnologías suenan de vanguardia, ya comienzan a democratizarse: “recientemente se lanzó al mercado una herramienta comercial de gemelo digital 3D “plug-and-play” que mapea automáticamente los datos de un WMS

*en una representación tridimensional del almacén, accesible desde PC o móvil” (Tecsyst, 2023)*. Esto indica que la visualización 3D ya no es exclusiva de grandes corporaciones, sino que empieza a ser accesible para almacenes medianos, pudiendo aplicarse en PYMEs locales. Sin embargo, hasta ahora pocas PYMEs la han adoptado, por lo que adelantarse en esa curva tecnológica podría brindar ventajas competitivas (por ejemplo, permitiéndoles identificar cuellos de botella operativos y mejorar su *throughput*<sup>1</sup>). Igualmente, la incorporación de IoT/RFID para automatizar la captura de datos de inventario puede eliminar tareas manuales de conteo e incrementar la eficiencia; investigaciones recientes reportan *“ROI positivo en la adopción de RFID en inventarios al reducir costos laborales y pérdidas por diferencias de stock” (Zhang & Wang, 2022)*. Cabe señalar que este ROI es una estimación para el caso particular simulado y que puede variar según el tipo de empresa (producción para stock o por pedido, tipo de producto, etc.), por lo que no debe considerarse representativo de otras empresas.

Este estudio ofrece entonces un **caso de negocio preliminar** para la transformación digital de la gestión de inventarios en PYMEs rafaelinas. Los resultados brindarán indicadores y *benchmarks* de mejora (p. ej., potencial reducción de costos en porcentaje, aumento de la rotación, mejora del nivel de servicio) que pueden ser utilizados por directivos de PYMEs locales para justificar internamente la inversión en tecnología. También servirá a agencias de desarrollo regional y a entidades gubernamentales para entender las necesidades específicas de las PYMEs industriales en materia de logística e impulsar políticas o programas de apoyo adecuados. Por ejemplo, si se demuestra que con una cierta inversión en WMS la PYME promedio puede ahorrar un 10% en costos logísticos anuales, esos datos pueden sustentar líneas de financiamiento o incentivos fiscales específicos para promover dicha inversión.

**Alcance y delimitaciones:** Cabe aclarar que el trabajo se enfoca en una empresa industrial manufacturera o de transformación (caso simulado), ya que esta maneja inventarios de insumos y productos terminados cuyo control es crítico para su producción y ventas. Aunque existen empresas de mayor envergadura en Rafaela, el énfasis está en una compañía de tamaño pequeño a mediano que típicamente no cuenta con sistemas ERP/WMS robustos. La solución propuesta se plantea como una simulación para dicho

---

<sup>1</sup> *Throughput*: se refiere a la cantidad de datos que se transmiten correctamente a través de una red en un periodo de tiempo específico.

caso y no debe considerarse generalizable a otras empresas, aunque podría adaptarse conceptualmente con las debidas adecuaciones.

La investigación **no** realiza implementaciones reales en empresas ni recopila datos primarios de campo; por lo tanto, los resultados obtenidos son de naturaleza simulada o estimada. Esto implica que las conclusiones sobre el impacto deberán ser validadas en estudios futuros con proyectos piloto reales. No obstante, se han triangulado fuentes bibliográficas y datos de diferentes procedencias para sustentar los supuestos del modelo, procurando que las conclusiones sean lo más realistas posible dentro de un marco teórico.

Asimismo, el alcance tecnológico incluye WMS, visualización 3D e IA a nivel conceptual, pero **no** se desarrolla un software funcional completo en el marco del trabajo final. Se presenta el diseño (requisitos, módulos, diagramas) y el potencial funcionamiento de la solución, pero la construcción del sistema quedaría fuera del alcance. De igual modo, las tecnologías complementarias (RFID, realidad aumentada, etc.) se discuten como posibles extensiones futuras más que como parte integral obligatoria de la solución, dado que podrían añadirse de forma modular según las necesidades específicas de cada empresa.

En cuanto al horizonte temporal, el análisis de prospectiva considera un plazo de aproximadamente 5 a 10 años para los escenarios (imaginando el contexto hacia 2030-2035), lo cual es razonable dado el ritmo acelerado del cambio tecnológico. No se pretende predecir más allá de ese horizonte, pues la incertidumbre sería muy alta.

En síntesis, este trabajo se justifica porque aborda un problema relevante para un conjunto importante de empresas (las PYMEs industriales), propone una solución apoyada en conocimientos de frontera adaptados al contexto local, y combina diversos enfoques metodológicos para brindar una visión integral del fenómeno, desde el detalle operativo hasta la estrategia futura.

## **Capítulo 2. Marco Teórico**

En este capítulo se presentan los fundamentos teóricos y el contexto conceptual de la investigación. Primero, se abordan nociones generales de la cadena de suministro y la gestión de inventarios en el ámbito de las PYMEs industriales, estableciendo por qué un buen manejo de inventarios es crucial y cómo las PYMEs difieren de las grandes

empresas en este aspecto. Luego, se resumen las metodologías clásicas de control de inventarios desarrolladas por la literatura de administración de operaciones (EOQ, análisis ABC, Justo a Tiempo, MRP, etc.), que sientan la base para cualquier sistema de inventario. Posteriormente, se exploran las tecnologías emergentes que están revolucionando la gestión de almacenes, con énfasis en aquellas relevantes a la propuesta: sistemas WMS, visualización 3D y gemelos digitales, IoT/RFID, realidad aumentada e inteligencia artificial aplicada a inventarios. Se integra evidencia de estudios recientes (2019–2024) sobre los beneficios que estas tecnologías han demostrado, así como las barreras encontradas, especialmente en el contexto de PYMEs. Finalmente, se discute la situación de adopción tecnológica en las PYMEs (a nivel global y en Argentina) para entender el punto de partida y la brecha a cerrar.

## 2.1 Cadena de Suministro e Inventarios en PYMEs Industriales

En términos generales, la **cadena de suministro** abarca el flujo de materiales e información desde los proveedores de materias primas hasta el cliente final, incluyendo procesos de producción, distribución e incluso logística inversa. La **gestión de inventarios** es una función crítica dentro de esta cadena, encargada de equilibrar la disponibilidad de productos con los costos asociados a mantener stock. Este equilibrio es delicado: demasiado inventario inmoviliza capital y eleva costos de almacenamiento, mientras que inventario insuficiente provoca quiebres de stock, retrasos y pérdida de ventas. Lograr el punto óptimo requiere técnicas y disciplina en la administración de existencias.

Las **PYMEs industriales**, por su escala y recursos limitados, enfrentan desafíos particulares en la gestión de inventario. Muchas operan con estructuras organizativas simples, donde una sola persona (por ejemplo, el jefe de depósito o incluso el dueño) asume múltiples roles y no existe un departamento especializado de logística. Esto puede llevar a que las decisiones de inventario se tomen de forma **intuitiva** en lugar de apoyarse en técnicas formales. Estudios previos muestran que una gestión ineficiente de inventarios puede impactar negativamente la rentabilidad de las PYMEs. Por ejemplo, *“investigaciones recientes confirman que indicadores clásicos como la **rotación de inventario** (inventory turnover) se correlacionan positivamente con los márgenes netos de las empresas, incluso en el sector PYME” (Marzolf, M. J., Miller, J. W., & Peinkofer, S. T. (2023)).* En otras palabras, empresas con baja rotación (inventarios estancados)

tienden a mostrar menor rentabilidad, lo cual sugiere que optimizar el inventario tiene un efecto tangible en la salud financiera. Mejorar la gestión de stock puede liberar capital y elevar la eficiencia operativa, fortaleciendo la posición competitiva de la empresa.

A nivel macroeconómico, la importancia de las PYMEs es ampliamente reconocida. “Según el **Banco Mundial**, las PYMEs constituyen alrededor del 90% de las empresas y generan más del 50% del empleo a nivel mundial, y en las economías emergentes contribuyen hasta un **40% del PIB**” (Banco Mundial. (2022)). “En Argentina, representan más del **99% del entramado empresarial** y generan aproximadamente el **70% del empleo formal**” (Perfil. (2022)). Por ello, mejorar su eficiencia operacional tiene un efecto multiplicador en la economía nacional. Un reciente estudio realizado en Argentina destacó que “la integración de **tecnologías digitales en la logística** permite a las PYMEs operar de manera más eficiente y adaptarse mejor a los cambios del mercado” (ITC & Universidad CAECE. (2024)). Más específicamente en el ámbito de inventarios, lograr menores costos logísticos y mayor cumplimiento en las entregas ayuda a las PYMEs a competir en igualdad de condiciones de servicio con empresas de mayor tamaño. En suma, la profesionalización de la gestión de la cadena de suministro en PYMEs puede traducirse en ganancias de productividad y competitividad sustanciales.

No obstante, las PYMEs industriales suelen adolecer de recursos para implementar prácticas avanzadas de *supply chain management*. Si bien conceptos como **Justo a Tiempo (JIT)** o **Manufactura Esbelta (Lean)** han permeado la industria global desde los años 80, su adopción en pequeñas empresas no ha sido masiva por la falta de poder negociador, economías de escala y capital para inversiones. Muchas PYMEs terminan gestionando su cadena de suministro con enfoques **reactivos** más que proactivos: se corrigen problemas a medida que ocurren (faltantes, urgencias de compra) en lugar de planificar con anticipación óptima. Esto crea un ciclo donde el inventario se maneja “apagando incendios”, lo cual deriva en sobrecostos y oportunidades perdidas. Las PYMEs industriales de entornos como Rafaela no son ajenas a estas dinámicas. Como se ha observado, muchas nacieron como empresas familiares y crecieron sin sistemas de gestión formales, apoyándose en la experiencia acumulada. De acuerdo con un relevamiento de UNRaf, “**93% de las empresas rafaelinas tienen menos de 50 empleados**, y el 68% menos de 9 empleados, lo que indica que la mayoría son micro o pequeñas unidades de negocio. Históricamente, la **antigüedad promedio** de estas

*empresas es de 26 años” (H Revale. R Ascuá. 2018)* lo cual implica que muchas se fundaron en las décadas de 1980-90, previo a la era digital actual, y arrastran métodos tradicionales. En cuanto a la **estructura de inventarios**, muchas PYMEs manejan tanto inventarios de materias primas/insumos para producción como inventarios de productos terminados para venta. Mantener sincronizados ambos (entrada y salida) es complejo sin sistemas integrados, resultando en que a veces haya exceso de ciertos insumos obsoletos y simultáneamente faltantes de productos demandados. Adicionalmente, la diversidad de rubros industriales en Rafaela – metalmecánica, alimentos, autopartes, plásticos, químico, etc. – implica distintas dinámicas de inventario (por ejemplo, un fabricante de autopartes quizá maneja miles de ítems pequeños de repuesto, mientras que una láctea maneja productos perecederos). Esto genera la necesidad de **flexibilidad** en las soluciones de gestión de stock.

En síntesis, existe una necesidad reconocida de **profesionalizar la gestión de inventarios en PYMEs**, incorporando metodologías probadas y tecnología adecuada. Un buen punto de partida es fortalecer los fundamentos con las técnicas clásicas, para luego apoyarse en herramientas informáticas que las hagan más fáciles de implementar. A continuación, se revisan precisamente esos fundamentos teóricos clave y antecedentes tecnológicos que respaldan la idea de implementar un software avanzado (con componente 3D) en este ámbito.

## 2.2 Metodologías Clásicas de Control de Inventarios

A lo largo de las décadas, la literatura de administración de operaciones ha desarrollado diversas metodologías para **optimizar inventarios**. Entre las más clásicas destacan:

- **Modelo de Lote Económico de Pedido (EOQ)**: Propuesto originalmente por Ford W. Harris en 1913, este modelo formula el **tamaño óptimo de pedido** que minimiza la suma de costos de mantener inventario (costo de almacenaje por unidad \* cantidad promedio) y costos de pedido (costo fijo cada vez que se realiza un pedido). La fórmula básica del EOQ es:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

donde  $D$  es la demanda anual del producto,  $S$  el costo fijo por pedido, y  $H$  el costo de mantener una unidad en inventario por año (a veces calculado como tasa de mantenimiento \* costo unitario). El resultado  $Q^* = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$  indica cuántas unidades conviene pedir cada vez. Este modelo asume demanda constante y reposición instantánea, por lo que en contextos reales suele ajustarse con variantes (p. ej., EOQ con descuento por cantidad, EOQ probabilístico con demanda variable, etc.). Aún hoy, el EOQ se utiliza como referencia fundamental para determinar cantidades de reaprovisionamiento. Su vigencia se debe a su sencillez y potencia: incluso integrado en sistemas modernos, sigue brindando un punto de partida teórico óptimo. Por ejemplo, “Kurniawan et al. (2024) aplicaron un modelo EOQ probabilístico junto con la metodología 5S en una empresa distribuidora de bombas de agua, encontrando que esta combinación mejoró la **disponibilidad de stock** y redujo costos operativos” (Kurniawan, M. R., Hadiyanto, H., Zulkarnaen, J. D. P., & Harito, C. (2024)). Esto demuestra que técnicas centenarias como EOQ pueden complementarse con prácticas modernas para lograr resultados efectivos

- **Análisis ABC:** Es una metodología de **clasificación de inventarios** introducida a mediados del siglo XX, derivada del principio de Pareto sobre distribución desigual. Consiste en segmentar los ítems de inventario en tres categorías (A, B, C) según su valor de consumo anual (demanda \* costo unitario), o alternativamente según su criticidad. Típicamente, la categoría A incluye ~20% de los ítems que representan ~80% del valor total consumido (el “poco que es mucho”), B agrupa ítems de impacto medio (alrededor del 30% de ítems que representan ~15% del valor), y C corresponde al ~50% de los ítems con ~5% del valor. Esta técnica clásica sigue empleándose para **priorizar la gestión** según criticidad: la recomendación es dedicar más esfuerzo de control y seguridad de stock a los ítems A (por su mayor impacto económico), controles moderados a B, y mínimos a C. En entornos PYME, donde los recursos son escasos, ABC es especialmente útil, pues permite enfocar la gestión donde más importa. Por ejemplo, se pueden programar conteos cíclicos más frecuentes para productos A (semanales) y menos frecuentes para C (semestrales o anuales). Muchas soluciones ERP/WMS incorporan módulos de clasificación ABC automática, facilitando su aplicación práctica.

- **Justo a Tiempo (JIT):** Enfoque de producción originado en Toyota por Taiichi Ohno entre los años 1950–1970 (formalizado en Occidente en la década de 1980 con la publicación *Toyota Production System* de Ohno en 1988). El JIT busca minimizar o eliminar los inventarios teniendo material “justo a tiempo” cuando se necesita en producción, ni antes ni después. En esencia, considera al inventario como un desperdicio que enmascara problemas; al reducir inventarios se revelan ineficiencias que pueden corregirse. JIT está estrechamente ligado al concepto de **Kanban** (tarjetas de señalización para reabastecimiento) y a la filosofía **Lean** de mejora continua. Para las PYMEs, implementar JIT puro puede ser difícil por la falta de poder sobre proveedores (Toyota podía exigir entregas muy frecuentes, mientras una PYME quizás no). Aun así, los principios de fondo – reducir el tamaño de lote, programar entregas más frecuentes, sincronizar procesos – son valiosos. Muchas PYMEs pueden aplicar un "JIT interno" en ciertos sectores productivos, o mantener inventarios en consignación con proveedores locales para no cargar stock en sus libros. El JIT exige gran precisión en registros y cronogramas, por lo que un buen sistema de información es fundamental para habilitarlo (se necesita saber exactamente cuánto hay y cuánto se usó para gatillar reaprovisionamientos just-in-time). En este sentido, un sistema WMS puede contribuir a acercar a la empresa a un funcionamiento estilo JIT, al posibilitar señales automáticas de reposición en el momento oportuno.
- **Planeación de Requerimientos de Materiales (MRP):** Introducida en los años 1960–1970 con la computarización de la planificación, la MRP es un sistema que calcula las necesidades de materiales a partir de un programa maestro de producción, explosionando la lista de materiales (*Bill of Materials* o BOM) de cada producto para determinar **qué insumos pedir y cuándo**. Es el precursor de los sistemas ERP actuales. Aunque MRP no es estrictamente una “metodología de optimización” sino un procedimiento de cálculo de necesidades, es relevante mencionarlo porque muchas PYMEs manufactureras pequeñas no utilizan MRP formalmente, sino que planifican compras “sobre la marcha”. La implantación de un WMS/ERP podría introducir este concepto, mejorando la sincronización entre producción e inventarios. Clásicamente, MRP asume demanda independiente (del producto final) conocida, y calcula demanda dependiente de componentes. Hoy en día, los ERP permiten tanto MRP como DRP (*Distribution Requirements Planning*) para gestionar inventarios en redes de distribución.

- **Otras técnicas clásicas** incluyen la **revisión continua vs. periódica** de inventarios (políticas  $Q$  vs.  $P$ ), modelos de punto de pedido y cantidad fija, así como modelos probabilísticos de nivel de servicio (fórmulas de stock de seguridad basadas en la variabilidad de la demanda durante el lead time). También destaca la filosofía de **inventario administrado por el proveedor (VMI)**, donde el proveedor administra el stock en las instalaciones del cliente. Esta práctica ha sido utilizada desde los 90s por grandes cadenas, pero en PYMEs locales recién comienza a explorarse en contadas cadenas de valor.

En conclusión, las PYMEs pueden beneficiarse de aplicar estas metodologías clásicas como base para **profesionalizar su gestión de stock**. No obstante, a menudo carecen de herramientas informáticas que faciliten su implementación. Aquí es donde los sistemas de gestión de inventarios modernos (IMS/WMS) entran en juego, incorporando estas lógicas de optimización de manera automatizada y amigable. La siguiente sección explora precisamente cómo las **tecnologías emergentes** están redefiniendo la gestión de inventarios, permitiendo llevar a la práctica principios como EOQ, ABC o JIT de forma más sencilla y potente incluso para empresas de menor tamaño.

**Tabla 2.1. Comparativa de metodologías clásicas de gestión de inventarios**

<i>Metodología</i>	<i>Objetivo/Principio</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desafíos en PYMEs</i>
<b>EOQ (Lote Económico)</b>	Calcular el tamaño de pedido óptimo que minimiza costos totales (ordenar vs. mantener inventario).	Sencillo de aplicar; proporciona base cuantitativa para decidir cantidades.	Supone demanda estable y conocimiento de costos; puede requerir ajustes en entornos reales.
<b>ABC (Clasificación 80/20)</b>	Priorizar el control enfocándose en el pequeño % de ítems que representan la mayor parte del valor.	Permite asignar recursos de gestión donde más impacto económico hay; fácil de implementar con datos básicos.	Requiere datos fiables de consumo/valor; puede ser estático si no se revisa periódicamente.

<b>JIT (Justo a Tiempo)</b>	Minimizar inventarios recibiendo materiales <i>justo</i> cuando se necesitan; eliminar stock innecesario.	Reduce costos de almacenamiento; expone ineficiencias ocultas; mejora flujo de caja al no inmovilizar stock.	Alto requisito de coordinación con proveedores; riesgos ante demoras; difícil sin sistemas robustos que den visibilidad en tiempo real.
<b>MRP (Planif. Materiales)</b>	Calcular necesidades de insumos según plan de producción y lista de materiales; asegurar disponibilidad a tiempo.	Mejora la sincronización producción-abastecimiento; evita faltantes de componentes; permite simulaciones de escenarios de demanda.	Configuración compleja; requiere datos maestros exactos (BOM, inventarios); costoso de implementar sin un ERP.
<b>Revisión continua (Q) vs. periódica (P)</b>	Definir si reponer cuando el stock cae a cierto punto (sistema continuo) o en intervalos fijos (periódico).	Sistemas Q: reaccionan inmediatamente a faltantes, optimizan niveles; Sistemas P: simplifican logística revisando en intervalos fijos.	Sistemas Q requieren monitoreo permanente (automatización); Sistemas P pueden derivar en sobrestock o quiebres entre revisiones si la demanda varía mucho.
<b>VMI (Inventario Vendor)</b>	El proveedor gestiona el inventario en la bodega del cliente según consumo acordado.	Reduce la carga de gestión para el cliente; mejora disponibilidad y rotación porque el proveedor optimiza reabastecimiento.	Necesita alta confianza/proveedor fiable; integración de sistemas entre empresas; PYMEs suelen tener menos proveedores dispuestos a asumir este rol.

Como muestra la Tabla 2.1, cada técnica clásica tiene un enfoque distinto y puede complementarse con las otras. En la práctica, las PYMEs deberían adoptar una **combinación** de estas metodologías adaptada a su realidad: por ejemplo, utilizar EOQ como orientación para pedidos de sus insumos críticos (clase A), gestionar estos ítems A con conteos frecuentes (ABC) y acuerdos de suministro flexibles (JIT parcial o VMI) cuando sea posible, mientras emplean MRP o sistemas simples para planificar sus compras de materiales. Estas herramientas conceptuales sientan las bases de una gestión de inventarios sólida. No obstante, para aplicarlas eficientemente se requiere cada vez más del apoyo de **sistemas tecnológicos** que automaticen cálculos, recolección de datos y ejecución de tareas en almacén. A continuación, se analizan las principales innovaciones tecnológicas que están haciendo esto posible.

### 2.3 Tecnologías Emergentes en la Gestión de Inventarios

La última década ha visto un avance acelerado en tecnologías aplicadas a logística y manufactura. Conceptos como **Industria 4.0**, **Internet de las Cosas (IoT)**, **Inteligencia Artificial (IA)** y **gemelos digitales** están remodelando la forma en que se gestionan almacenes y cadenas de suministro. A continuación, se resumen aquellas tecnologías más relevantes para esta investigación y su aplicación a la gestión de inventarios:

**a) Software de Gestión de Almacenes (WMS) y Digitalización:** Un **WMS** (*Warehouse Management System*) es un sistema de información diseñado para controlar de forma centralizada todas las operaciones de un almacén: recepción de mercaderías, ubicación en estanterías, gestión de ubicaciones y stock, preparación de pedidos (picking), despacho, reposición interna y conteos de inventario, entre otras. Para muchas PYMEs, la adopción de un WMS representa el primer gran salto desde el control manual (planillas, tarjetas, listados impresos) hacia la **digitalización completa** del almacén. Los WMS modernos permiten seguimiento en tiempo real de las existencias, generación automatizada de órdenes de reaprovisionamiento (por ejemplo, gatillando órdenes de compra cuando el nivel baja del punto de reorden) y registro histórico de todos los movimientos, facilitando la toma de decisiones basada en datos. Además, un WMS suele integrarse con el sistema ERP corporativo (o al menos con el módulo de compras/ventas), logrando consistencia de la información en toda la empresa (ventas, inventario y compras sincronizados).

Sin embargo, la implementación de WMS en PYMEs tradicionalmente ha enfrentado barreras de costo y complejidad. Hace una o dos décadas, los WMS eran softwares costosos, orientados a grandes almacenes, y requerían infraestructura de IT significativa. Hoy la tendencia es ofrecer soluciones más accesibles, modulares y en la nube, e incluso de código abierto, para democratizar su uso entre empresas de menor tamaño. Por ejemplo, existen WMS open-source como **myWMS** o módulos de gestión de almacenes en **Odoo** (ERP open source) que las PYMEs pueden adoptar con inversión reducida. “*Ya en 2008 se reportaba que alrededor del 72% de las PYMEs argentinas contaba con algún tipo de software de gestión (ERP)*” (Mundo Contact). lo que sugiere que la mentalidad de adoptar herramientas informáticas está presente; falta dar el paso hacia sistemas logísticos especializados. La nube (SaaS) está jugando un rol importante en bajar la barrera de entrada: en lugar de grandes inversiones iniciales en hardware/licencias, las PYMEs pueden suscribirse a un WMS en la nube pagando mensualidades accesibles y escalando según uso.

*“Los beneficios de un WMS están bien documentados en la industria: mayor **exactitud de inventario** (se alcanzan niveles de precisión superiores al 99% en los registros), reducción de tiempos de picking (mediante optimización de recorridos y preparación guiada), mejoras en la tasa de cumplimiento de pedidos, mejor utilización del espacio (a través de ubicación dirigida y slotting inteligente), y disponibilidad de métricas ricas para la mejora continua (indicadores de rotación, envejecimiento de stock, desempeño de personal, etc.)”* (Veridian. (2018)). De hecho, empresas que implementan WMS suelen mejorar la precisión de inventario a tal punto que prácticamente eliminan las diferencias en auditorías. Todo esto redundará en costos más bajos y mejor servicio al cliente. Seleccionar un WMS adecuado implica evaluar funcionalidades versus necesidades: las PYMEs deben buscar sistemas flexibles, de rápida implementación y amigables, ya que no cuentan con departamentos de TI extensos para dar soporte. Afortunadamente, la oferta actual de mercado contempla esta necesidad con soluciones “plug-and-play”. Un claro ejemplo es el caso **Tecsys (2023)**: “*esta compañía canadiense lanzó un módulo de Digital Twin 3D Heat Map integrado a su WMS **Elite™**, promocionado como el primer gemelo digital de almacén no-code y out-of-the-box de la industria. Esto significa que automáticamente mapea los datos de inventario a una representación 3D **sin necesidad de desarrollos a medida**, permitiendo a los usuarios navegar su almacén virtual en PC o móvil y rastrear las operaciones de picking y*

*reposición en tiempo real” (Tecsys. (2023)). Este tipo de innovaciones integradas al WMS reflejan hacia dónde va la industria: soluciones listas para usar que combinan funcionalidades tradicionales con visualizaciones avanzadas y analítica.*

**b) Visualización 3D y Gemelos Digitales:** La visualización tridimensional aplicada a la logística se ha vuelto viable gracias al aumento del poder de cómputo y las herramientas de modelado digital. Un **gemelo digital** es una representación virtual de un sistema físico (en este caso, un almacén) que se actualiza con datos reales en tiempo casi real. En el contexto de inventarios, un gemelo digital del almacén permite ver en pantalla una réplica 3D de las estanterías, los productos y los movimientos, ofreciendo a los gestores una comprensión más intuitiva de la operativa. Es, en esencia, llevar el concepto de visualización de datos a un siguiente nivel, espacialmente inmersivo.

*“El concepto de gemelo digital fue introducido por Grieves en 2002 y alude a una réplica virtual de un sistema físico que está conectada bidireccionalmente con su contraparte real. Este vínculo permite monitorear y simular en tiempo real el estado del almacén, diferenciarlo de una simple simulación y soportar decisiones operativas y estratégicas.” (Longo, Nicoletti, & Mirabelli, 2021).*

Los beneficios reportados de un gemelo digital logístico incluyen: detección visual de **cuellos de botella** (por ejemplo, identificar zonas del almacén que se congestionan con frecuencia), planeación optimizada de **reubicaciones de productos** (*slotting* dinámico, es decir, recolocar productos en posiciones más convenientes según su rotación real), y la capacidad de **simular escenarios futuros** (p. ej., preguntarse *¿cómo se comportaría el flujo si aumenta 20% la demanda en temporada alta?* – y poder probar ese escenario en el gemelo antes de que ocurra). *“Un estudio de DHL (2019) señaló que los gemelos digitales agregan valor al permitir **monitorear y modelar activos logísticos de forma integral**, ayudando a tomar decisiones informadas basadas en la réplica virtual del almacén” (DHL. (2019)).* En términos prácticos, la solución de Tecsys mencionada (2023) muestra que esta tecnología está aterrizando comercialmente: su *3D Heat Map* crea automáticamente un **mapa térmico 3D** del almacén, superponiendo datos de actividad (por ejemplo, intensidad de picking o cantidad de movimientos) mediante códigos de color sobre la geometría del almacén. Es decir, un gerente puede ver literalmente qué pasillos o racks tuvieron mayor movimiento (coloreados “más calientes”) durante cierto período, todo sin necesidad de programar ni contar con

especialistas en 3D, ya que el sistema se alimenta de la base de datos del WMS. Este tipo de solución nativamente integrada y de fácil uso indica que la visualización 3D ya no es exclusiva de gigantes; está comenzando a ser accesible para medianas empresas y, por ende, plausible de aplicar en PYMEs locales con el acompañamiento adecuado.

Para una PYME, ¿qué valor concreto agrega la visualización 3D? Primero, **mejora la conciencia situacional**: en vez de navegar por listas de ubicaciones y códigos, se puede ver dónde está cada cosa en un plano tridimensional, reduciendo errores de interpretación. Segundo, **acorta la curva de aprendizaje** de nuevos empleados del almacén, ya que pueden orientarse mejor mediante un mapa virtual en 3D que entendiendo planos 2D o descripciones textuales. Tercero, permite detectar situaciones anómalas de un vistazo (por ejemplo, ubicar inmediatamente un pallet fuera de lugar o una zona no escaneada en el inventario cíclico). En resumen, la visualización 3D aporta una interfaz más intuitiva para la gestión de inventarios, complementando, pero no sustituyendo a los datos tabulares tradicionales. Se espera que en los próximos años estas representaciones visuales inmersivas se vuelvan estándar en los sistemas WMS avanzados, incluso en soluciones orientadas a PYMEs.

**c) Internet de las Cosas (IoT) y RFID:** La **Internet of Things** aplicada a almacenes consiste en desplegar dispositivos conectados (sensores, identificadores, actuadores) que recopilan datos y permiten automatizar tareas. Una de las aplicaciones más difundidas es la identificación por radiofrecuencia (**RFID**), donde las etiquetas en productos o pallets pueden ser leídas a distancia, sin contacto visual, por antenas fijas o móviles. En el contexto de inventarios, el **IoT/RFID** permite **digitalizar objetos físicos** y rastrear su movimiento en tiempo real. Por ejemplo, equipar cada pallet o caja con un tag RFID habilita saber al instante qué se recibió, dónde está almacenado y cuándo sale, todo alimentando automáticamente el sistema sin intervención humana. Esto reduce errores de registro (por ejemplo, omisiones o transcripciones incorrectas) y acelera operaciones (no es necesario escanear manualmente cada código de barras).

En un escenario con WMS + gemelo digital, combinarlo con RFID es **sinérgico**: se podría actualizar el gemelo digital del almacén en tiempo real conforme los productos se mueven. Por ejemplo, al recibir mercadería con tags RFID, el sistema registraría automáticamente la ubicación donde se almacenan, reflejándolo en el modelo 3D sin intervención manual. Asimismo, inventarios cíclicos automatizados son factibles – un

dron o robot móvil con lector RFID podría recorrer el almacén leyendo etiquetas, y el sistema conciliaría stocks de forma autónoma. Si bien esto puede sonar futurista para una PYME, ya existen kits relativamente económicos de RFID y proyectos open-source de drones inventaristas en desarrollo.

En ciudades medianas como Rafaela, es probable que pocas PYMEs hayan implementado RFID hasta la fecha, pero combinarlo con un software adecuado podría **eliminar tareas manuales repetitivas**, permitiendo reubicar al personal en actividades de mayor valor (como embalaje especializado, control de calidad, etc.). Cabe notar que IoT se extiende más allá de RFID: incluye sensores de ambiente (temperatura, humedad) relevantes para inventarios sensibles (alimentos, fármacos, químicos), actuadores (p. ej., luces inteligentes que se encienden en la ubicación a reponer o pickear) y *trackers* de flota (para integrar la información de inventario con la distribución en tránsito). Todas estas conexiones IoT enriquecen la **visibilidad** de la cadena de suministro. Un almacén “smart” equipado con IoT puede, por ejemplo, alertar al WMS si la temperatura de la cámara frigorífica sube demasiado (riesgo para los stocks) o calcular en tiempo real la ocupación de cada sector. Son avances que, integrados adecuadamente, brindan a las PYMEs un nivel de control antes impensado a un costo cada vez más accesible.

**d) Realidad Aumentada (AR):** Otra tecnología emergente de creciente aplicación es la **realidad aumentada** en operaciones de **picking**. Mediante el uso de gafas inteligentes (*smart glasses*) o visores AR, la realidad aumentada puede guiar al operario en el almacén mostrando **indicaciones visuales superpuestas** al mundo real. Por ejemplo, un sistema de *pick-by-vision* con AR podría mostrar flechas en el campo de visión del operario indicando hacia qué pasillo dirigirse, resaltar en su display el estante exacto donde está el producto, e incluso desplegar información del ítem a recoger (código, cantidad, etc.). Esto permite que el operador tenga las manos libres (a diferencia de usar un terminal de mano o una lista en papel) y se mantenga enfocado en la tarea, mejorando la velocidad y precisión.

Diversos pilotos industriales señalan que el *pick-by-vision* con AR efectivamente **mejora la productividad y exactitud** en la preparación de pedidos. Por ejemplo, “*DHL reportó incrementos de productividad cercanos al 15% al expandir su programa de picking con gafas inteligentes en 2019, y experimentos controlados con personal inexperto han mostrado desempeños hasta 37% más rápidos con AR comparado con métodos*

*tradicionales” (Retailive. Jan, 27, 2021)* . Estas mejoras del orden del 15–30% en la eficiencia de picking se traducen en ahorros significativos de tiempo y reducción de errores. Grandes compañías como DHL y Amazon han realizado pilotos exitosos con *smart glasses*, motivando la adopción global de esta tecnología.

Si bien este trabajo final se centra más en la visualización 3D a nivel de supervisión/gestión, es importante mencionar la AR como una posible extensión futura para operarios en planta. De hecho, la visualización 3D del gemelo digital podría ser aprovechada en AR: imaginemos que el operario vea una versión simplificada del almacén en sus gafas indicando dónde está el próximo producto a recolectar, o mostrando una imagen del producto esperado para verificar que coincide con lo que tiene en mano. Hoy por hoy, para muchas PYMEs esta tecnología es aún costosa y experimental, pero no está fuera del horizonte a medida que los dispositivos se masifican (ya existen visores AR relativamente asequibles, e incluso aplicaciones móviles que logran efectos de AR con la cámara del teléfono). En entornos donde la precisión en el picking es crítica (por ejemplo, PYMEs farmacéuticas, donde un error de preparación puede ser grave), la AR ofrece una capa adicional de verificación que puede reducir al mínimo las equivocaciones.

**e) Inteligencia Artificial y Analítica Predictiva:** La IA está emergiendo como un *game-changer* en la gestión de inventarios, especialmente a través de técnicas de **aprendizaje automático** (*machine learning*) aplicadas al pronóstico de la demanda y a la optimización de stocks. Tradicionalmente, la planificación de inventarios se basaba en pronósticos estadísticos (métodos de series de tiempo como promedios móviles, suavización exponencial o ARIMA). Hoy, con la disponibilidad de datos masivos y mayor potencia computacional, se pueden entrenar modelos de IA (redes neuronales, árboles de decisión, modelos híbridos) para predecir la demanda con **mayor exactitud**, capturando patrones no lineales, estacionalidades complejas, efectos de promociones, clima, etc. Un pronóstico más certero se traduce en niveles de stock más ajustados: menos stock de seguridad necesario para cubrir la incertidumbre y, por ende, menos capital inmovilizado.

Además de pronósticos, la IA puede utilizarse para optimizar **políticas de inventario**. Por ejemplo, algoritmos genéticos o de optimización multiobjetivo pueden sugerir combinaciones óptimas de puntos de reorden y cantidades de pedido para minimizar el costo total dado un nivel de servicio deseado. Otra aplicación es la **clasificación dinámica de ítems**: en lugar de reglas fijas (como ABC estático), un algoritmo de

*clustering* podría encontrar agrupaciones óptimas de productos según múltiples variables (valor, variabilidad de demanda, lead time, criticidad) y proponer categorías de control diferenciadas adaptadas a la realidad cambiante.

En almacenes, la **visión artificial** (otra rama de IA) se está usando para control de inventario visual: cámaras que inspeccionan estantes y reconocen si falta algún producto o si cierta ubicación está vacía. Por ejemplo, “*la empresa Vimaan (radicada en Silicon Valley) desarrolla soluciones de cámaras fijas en racks que monitorean continuamente los niveles de stock, creando un gemelo digital actualizado automáticamente*” (Vimaan. (2021)). Estas tecnologías de visión computarizada pueden alcanzar una **precisión de inventario cercana al 100%** al eliminar omisiones humanas, al tiempo que proveen datos ricos (detectan etiquetas ilegibles, daños, ubicaciones ocupadas, etc.).

Un estudio reciente destacó resultados muy favorables de aplicar IA a la gestión de inventarios. Por ejemplo, “*Dinh (2020) documentó en Finlandia que la introducción de IA en un almacén conllevó mejoras notables en la eficiencia operativa, y que su impacto atrajo la atención de numerosos investigadores y empresas globalmente*”. En concreto, la IA se ha utilizado para optimizar la colocación de productos en el almacén (determinando qué ítems deberían almacenarse cerca entre sí o en las posiciones más accesibles, minimizando tiempos de recorrido, un problema combinatorio complejo que la IA puede abordar), y para sistemas de soporte de decisión que recomiendan acciones al gerente (por ejemplo: “este ítem está en riesgo de quedar obsoleto según su tendencia de venta, considere una promoción para liquidarlo”). Para una PYME, adoptar IA en toda su extensión quizás no sea inmediato, pero la ventaja es que muchas **soluciones nuevas ya traen IA embebida**. Por ejemplo, algunos ERPs en la nube incluyen módulos de pronóstico con *machine learning* pre-entrenados, donde el usuario solo carga sus datos históricos y obtiene pronósticos mejorados automáticamente. Lo mismo ocurre con la optimización de rutas de picking: algunos WMS avanzados incorporan algoritmos que aprenden de los patrones de pedidos para agruparlos eficientemente y reducir recorridos. En la medida en que una PYME utilice software actualizado, puede beneficiarse de la IA sin tener que desarrollarla ella misma.

**f) Automatización física y robótica:** Si bien quizá más alejada del foco central de este trabajo, es oportuno mencionar que la automatización física de almacenes – por ejemplo, el uso de **vehículos autónomos (AGVs)** o robots móviles para picking (como los de

Amazon Kiva) – es otra tendencia en almacenes de vanguardia. Por ahora, su adopción en PYMEs es muy baja debido a la inversión requerida y la complejidad de integración. No obstante, en horizontes futuros podría masificarse la robótica “económica” para almacenes pequeños (ya existen startups ofreciendo **robots de picking colaborativo** bajo el modelo *Robotics as a Service*, RaaS). Si ese fuera el caso, la existencia previa de un WMS robusto sería un prerrequisito para gestionar robots, de modo que dar el paso digital ahora prepara el terreno para potenciales automatizaciones futuras.

A modo de cierre de este tema, puede afirmarse que hoy las PYMEs cuentan con un **abanico de tecnologías** que, integradas inteligentemente, pueden transformar su forma de administrar inventarios. El desafío está en seleccionar las apropiadas y adaptarlas a la realidad de recursos y capacidades de estas organizaciones más pequeñas, evitando sobredimensionamientos o complejidades innecesarias. La solución propuesta en esta investigación combina varias de ellas: un **software WMS** central como columna vertebral, un módulo de **visualización 3D** (gemelo digital) para el monitoreo avanzado, e interfaces estándar (APIs) para potencial integración con dispositivos IoT (lectores RFID, sensores) a futuro. Antes de implementarla, es necesario definir cómo se investigará su impacto y la viabilidad de dicha implementación; esto es precisamente el tema que se aborda en el siguiente capítulo de Metodología.

Tabla 2.2. Comparación entre la gestión de inventarios tradicional y la propuesta con WMS y visualización 3D. Fuente: Elaboración propia.

<i>Variable</i>	<i>Gestión tradicional</i>	<i>Propuesta WMS+3D</i>
<i>Visibilidad en tiempo real</i>	Baja, dependiente de registros manuales o planillas	Alta, visualización 3D en tiempo real y registros automáticos
<i>Precisión de inventario</i>	80–90% (recuento periódico o anual)	≈99% gracias a códigos de barras/RFID y conteos cíclicos
<i>Gestión de espacio</i>	Empírica, sin optimización de ubicación	Optimizada vía slotting inteligente y layout 3D
<i>Tiempo de picking</i>	Largo y con búsqueda manual	Rápido mediante rutas guiadas y mapas 3D

<i>Inversión inicial</i>	Baja	Moderada a alta (licencias y hardware)
<i>Necesidad de capacitación</i>	Baja, procesos conocidos	Alta, requiere formación inicial y cambio cultural

## Capítulo 3. Metodología

El enfoque metodológico de este estudio es principalmente **cuantitativo no experimental**, complementado con técnicas de análisis cualitativo estratégico (como matrices de factores y escenarios). Dado que no se realizaron intervenciones directas en empresas (por limitaciones de tiempo y alcance), la investigación se basó en una combinación de **revisión sistemática de literatura**, análisis de datos secundarios y **modelado-simulación** para responder la pregunta de investigación. En esencia, se empleó el método científico a través de la construcción de un modelo teórico de la situación actual y futura, sustentado en evidencia empírica publicada, y la experimentación virtual con ese modelo para observar resultados bajo distintos supuestos.

A continuación, se detallan los componentes metodológicos clave empleados para alcanzar los objetivos planteados en el Capítulo 1:

### 3.1 Diseño de la Investigación y Alcance

Para elevar el nivel de evidencia y robustecer las conclusiones, sería ideal replicar la simulación desarrollada en aproximadamente quince (15) empresas adicionales y realizar una contrastación estocástica de los resultados.

El diseño de la investigación es de tipo **exploratorio-descriptivo**, con elementos analíticos explicativos. Se considera exploratorio porque la aplicación de visualización 3D e IA en la gestión de inventarios de PYMEs es un terreno relativamente nuevo, donde no abundan estudios locales, por lo que fue necesario familiarizarse con el fenómeno e indagar en múltiples fuentes para generar conocimiento. Es descriptivo en la medida en que se documentan en detalle los procesos actuales de inventario de las PYMEs y se describe la propuesta tecnológica con todas sus características. Y tiene una faceta explicativa/analítica al buscar determinar, mediante modelos, la relación causa-efecto –

por ejemplo, **¿cómo la implementación del software causa reducción de costos logísticos?** – incluso si esa explicación se basa en simulaciones en lugar de datos reales.

El alcance temporal es **transversal** (corte sin seguimiento a largo plazo) respecto al diagnóstico actual, complementado con la elaboración de escenarios a futuro. No se hizo seguimiento de empresas a lo largo del tiempo (lo cual sería longitudinal), sino que se analizó la situación actual (años 2024–2025) y se proyectaron implicancias a mediano plazo.

En cuanto al alcance aplicativo, si bien el estudio se centra en Rafaela, muchos hallazgos pueden ser relevantes para PYMEs industriales de características similares en otras localidades de Argentina o Latinoamérica. Por lo tanto, existe una posibilidad de **generalización analógica** (analytical generalization) de los resultados hacia contextos análogos. Sin embargo, no se busca generalizar estadísticamente a una población mediante muestreo aleatorio – de hecho, **no hubo selección muestral de empresas**, pues no se encuestó ni entrevistó directamente a compañías locales. La validez del estudio reside en la validez interna del modelo y la solidez de las fuentes utilizadas, más que en la validez externa (que usualmente se logra con replicación en múltiples casos reales).

### 3.2 Revisión Sistemática de la Literatura

Como primer pilar metodológico se realizó una **revisión sistemática de literatura (RSL)**, siguiendo lineamientos PRISMA adaptados. Los pasos fueron:

- **Definición de preguntas de revisión:** se establecieron preguntas guía tales como: *¿Qué problemas de inventario enfrentan las PYMEs industriales y qué soluciones se han propuesto?; ¿Cuál es el estado del arte en WMS, visualización 3D, RFID, AR, ¿IA aplicados a almacenes?; ¿Qué evidencias hay de mejoras cuantitativas con dichas tecnologías?; ¿Cómo ha sido la experiencia de adopción tecnológica en PYMEs (barreras, factores críticos) ?; ¿Qué metodologías se usan para evaluar impacto logístico?*
- **Estrategia de búsqueda:** se buscaron artículos científicos en bases de datos académicas (IEEE Xplore, Scopus, ScienceDirect, SpringerLink), acotando principalmente a años **2019–2024** para capturar lo más reciente, y utilizando combinaciones de palabras clave en español e inglés: “*inventarios PYMEs*”, “*SMEs inventory management*”, “*WMS SME adoption*”, “*warehouse 3D*”

*visualization*”, “*digital twin warehouse*”, “*AI inventory optimization*”, “*tecnología logística PYMEs Argentina*”, etc. También se incluyeron reportes de organismos internacionales (p. ej., reportes del Banco Mundial, ITC, CEPAL) para datos macro, así como literatura clásica (por ejemplo, el paper original de Harris de 1913 sobre EOQ, o el libro de Ohno de 1988 sobre *Just-in-Time*), respetando la proporción prevista de ~20% de fuentes clásicas.

- **Criterios de inclusión/exclusión:** se incluyeron estudios empíricos, revisiones y casos de estudio relevantes al tema. Se priorizaron artículos con DOI verificable, publicaciones indexadas en revistas o congresos arbitrados, y literatura gris de fuentes confiables (e.g., informes técnicos de consultoras reconocidas, normativas nacionales). Se excluyeron documentos sin respaldo de revisión por pares cuya confiabilidad no pudiera establecerse.
- **Evaluación y síntesis:** de cada fuente relevante se extrajeron los hallazgos clave y se evaluó su calidad (por ejemplo, tamaño muestral si era un estudio cuantitativo, o procedencia de los datos si era un informe técnico). Se organizó la información por temas: problemática de las PYMEs, metodologías clásicas de gestión de inventarios, tecnologías emergentes (subdividido por tipo de tecnología), ROI y resultados de implementaciones, métodos de evaluación, etc. Esta síntesis alimentó principalmente el Marco Teórico (Cap. 2) y las premisas del modelo en Cap. 4 (por ejemplo, datos de costos o porcentajes de mejora esperables, todo basado en referencias).

La RSL no solo sirvió para “saber qué se sabe” del tema, sino también para identificar **lagunas de conocimiento**. Una laguna detectada fue la falta de estudios locales integrales: existen trabajos sobre PYMEs de Rafaela como (Ascúa & Revale, 2018) caracterizando su situación, y trabajos sobre tecnologías logísticas en general, pero no uno que conecte ambos aspectos. Esto reafirmó la originalidad del abordaje de este trabajo final.

### 3.3 Recolección y Análisis de Datos Secundarios

Paralelamente a la revisión bibliográfica, se recopilaron **datos secundarios cuantitativos** de fuentes oficiales y estudios previos para contextualizar y parametrizar el análisis. Entre las principales fuentes utilizadas estuvieron:

- **Relevamientos de PYMEs en Rafaela y Santa Fe:** el informe de “Ascúa & Revale (2018) – *Relevamiento de Pymes de Rafaela: informe ejecutivo* – proporcionó datos sobre el universo de PYMEs locales: cantidad de distribución sectorial (la industria representaba ~18% en la muestra), tamaños promedio (15 empleados; 93% con menos de 50 empleados), antigüedad, grado de inserción exportadora (solo 8% exportan), etc. Estos datos se usaron en Cap. 1 para dimensionar la problemática y en Cap. 4 para caracterizar las empresas objetivo (Ascúa & Revale, 2018).
- **Datos macroeconómicos y sectoriales:** se recurrió a estadísticas del Ministerio de Desarrollo Productivo de la Nación y de la organización empresaria CAME. Por ejemplo, número de PYMEs a nivel nacional (1.633.341 registradas en 2020) (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2022), proporción en la provincia de Santa Fe (~9,5%), densidad de PYMEs por habitante, y aporte al empleo (las PYMEs generan ~64% del empleo formal registrado) (International Trade Centre, 2024). También se recopilaron indicadores logísticos generales: por ejemplo, el índice global de desempeño logístico LPI del Banco Mundial, y datos comparativos de costos logísticos. En Latinoamérica los costos logísticos representan entre un **16% y 26% del PIB**, frente a ~9% en países de la OCDE, según estudios del BID (Pinto *et al.*, 2023). De manera similar, los costos logísticos pueden equivaler al 18–32% del valor de los productos en la región, comparado con ~8–10% en economías desarrolladas. Estas cifras justifican la necesidad de mejorar la eficiencia logística en PYMEs locales para cerrar la brecha de competitividad.
- **Encuestas sobre digitalización y competitividad de PYMEs:** muy relevante fue el informe del International Trade Centre (ITC) (2024) titulado “*Promoviendo la competitividad PyME en Argentina con tecnologías digitales*”, que encuestó 614 PYMEs argentinas. De allí se tomaron datos como: la **preocupación por los costos logísticos** (85% de las PYMEs los consideran un problema grave) y el **impacto positivo de las herramientas digitales** en logística (más de la mitad de las PYMEs que usan tecnologías digitales reportaron mejoras en la puntualidad de las entregas, frente a solo un tercio de las que no las usan) (International Trade Centre, 2024). También se relevaron barreras percibidas para la adopción tecnológica (costos, falta de financiamiento, resistencia al cambio, etc.) y recomendaciones de política pública. Estos hallazgos proporcionaron *insights*

directos para el análisis FODA (amenazas y oportunidades) y el marco PESTEL discutidos más adelante.

- **Informes de consultoras y analistas:** se revisaron algunas fuentes del sector privado que aportan datos recientes. Por ejemplo, un análisis de McKinsey (2025) sugiere complementar la valoración tradicional de proyectos (VPN) con métricas de prioridades estratégicas (resiliencia, sostenibilidad, etc.) para obtener un **ROI holístico** que capture beneficios no financieros, especialmente en el sector público (Griggs *et al.*, 2025). Otro informe técnico de una empresa de WMS (*Lisa WMS*, 2023) estimó que el **costo de mantener inventario** equivale aproximadamente al 25% del valor anual del stock – cifra consistente con la literatura logística clásica (carrying cost típico de 20–30% del valor). Ese mismo informe muestra que con herramientas como **códigos de barras y conteos cíclicos** se puede elevar la precisión del inventario a ~99% y, al eliminar excesos por incertidumbre, reducir el inventario necesario en 5–30%. Por su parte, la empresa RFgen (2021) presentó ejemplos de ROI para WMS en PYMEs: una inversión típica de US\$100.000 genera ahorros del orden de US\$50.000/año en costos operativos, lo que implica un **ROI anual de ~50% y un payback de ~2 años**. Del mismo modo, la consultora Veridian reportó beneficios intangibles significativos al implementar WMS, como la mejora de la exactitud del inventario a niveles prácticamente perfectos (>99,9% de exactitud), lo que redundaba en mejor servicio al cliente. Todos estos datos del sector privado se utilizaron en Cap. 5 para contrastar y validar los resultados de la simulación, y para argumentar la factibilidad económica de la propuesta. Es notable que estudios externos en PYMEs suelen reportar **periodos de recuperación (paybacks) de 2 a 4 años** para sistemas WMS, alineado con lo obtenido en nuestras estimaciones (International Trade Centre, 2024).
- **Normativa y políticas vigentes:** se consultaron detalles de la Ley PyME argentina (Ley 27.264, año 2016) y sus beneficios fiscales, ya que Santa Fe adhirió a dicha ley en 2018. También se relevaron programas públicos como “Transformación Digital PyME” del Ministerio de Producción, que brindan subsidios para adopción tecnológica en pequeñas empresas. Esta información alimentó el análisis de oportunidades (p.ej., apoyo gubernamental disponible) en la sección de discusión estratégica, al considerar incentivos externos que faciliten la implementación de la propuesta.

Todos los datos recopilados se analizaron mediante técnicas descriptivas simples: consolidación en tablas, cálculo de porcentajes, comparaciones. Algunos se presentan en forma de gráficos y tablas más adelante durante el desarrollo para mayor claridad. Por ejemplo, se incluyó una tabla comparativa hipotética de costos logísticos como % de ventas en distintos contextos (Argentina vs. países OCDE) para ilustrar la brecha de competitividad. También se tabularon características de las PYMEs rafaquinas (tamaño, sector, sistemas de gestión utilizados) para delinear un perfil concreto del escenario base.

Cabe resaltar que, al no haber datos primarios locales sobre ciertos indicadores de inventario (por ejemplo, no se dispone públicamente de la rotación promedio de inventarios en PYMEs de Rafaela), fue necesario **inferir o extrapolar** a partir de literatura internacional y casos análogos. Estas asunciones se mencionan explícitamente al presentar los resultados de simulación, para mantener la transparencia.

### 3.4 Modelado Cuantitativo y Simulación

Este apartado metodológico constituye el núcleo analítico del trabajo. Consistió en **construir modelos representativos** de la gestión de inventario en una PYME típica, y luego realizar **simulaciones computacionales** para evaluar los resultados de implementar la solución propuesta en comparación con la situación actual. En términos de los objetivos del estudio, esta sección aborda principalmente el Objetivo Específico 5 (evaluar cuantitativamente el impacto de la propuesta).

Las etapas fueron:

#### 3.4.1 Modelado “As-Is” (Situación Actual)

Se definió un modelo simplificado de cómo opera actualmente el inventario en una PYME industrial rafaquina promedio, basado en la información recabada. Esto incluyó:

- **Definir uno o varios productos representativos:** para el seguimiento detallado se centró el modelo en un **producto tipo A** (alto volumen/valor) del inventario, ya que suele ser el más crítico en costos. Adicionalmente, se consideró un producto tipo B y uno tipo C para ilustrar diferencias (aunque la simulación principal se enfocó en el producto A).

- **Establecer parámetros clave:** demanda anual, variabilidad de la demanda, tiempo de reposición (*lead time*) y su variabilidad, costo de realizar un pedido, costo de mantener stock, costo de escasez (por unidad faltante o venta perdida). Muchos de estos parámetros se estimaron a partir de la literatura. Por ejemplo, se supuso una demanda promedio de **1000 unidades/año** para el producto A, con desviación estándar ~20%; un lead time de reposición de 10 días con cierta variabilidad; un costo de mantener inventario equivalente al 25% del valor anual (en línea con cifras típicas reportadas); un costo por pedido de, p. ej., USD 50 (considerando trámites administrativos, flete, etc.); y un costo de quiebre estimado como la pérdida de margen por venta no realizada (aprox. 30% del precio por unidad faltante).
- **Política de inventario actual:** se supuso que la empresa actualmente maneja sus reaprovisionamientos de forma empírica (“a ojo”), por ejemplo realizando pedidos mensuales fijos o cuando se nota que el stock bajó de cierto nivel de seguridad informal. Se modeló un caso base donde la empresa pide 100 unidades cada vez (un lote fijo no necesariamente óptimo) y deja que el stock llegue prácticamente a cero antes de reordenar, lo que ocasiona ocasionalmente quiebres de stock.

Con estas suposiciones se construyó un modelo de simulación tipo **Monte Carlo** para un periodo de un año, generando demanda aleatoria mes a mes (o día a día) según la distribución definida, y simulando el comportamiento del inventario con la política actual. Esto permitió obtener **métricas de desempeño actuales estimadas:** promedio de unidades en inventario, número de quiebres de stock al año, nivel de servicio (porcentaje de la demanda atendida sin faltantes) y costo total anual (suma del costo de mantener + costo de pedidos + costo por quiebres).

### 3.4.2 Modelado “To-Be” (Situación Propuesta)

Luego se modeló el escenario hipotético tras implementar el sistema WMS+3D propuesto. En este escenario, se asume que la empresa adopta un **control continuo del inventario** con el WMS, aplicando una política de reaprovisionamiento optimizada basada en punto de reorden y tamaño de lote económico (EOQ ajustado).

Básicamente, el modelo utiliza la fórmula de **Cantidad Económica de Pedido (EOQ)** para el producto A con los parámetros definidos, a fin de determinar cuánto pedir, y la fórmula de **stock de seguridad** para determinar cuándo pedir, con el objetivo de mantener un nivel de servicio deseado (por ejemplo, 95%). Así, la política implementada es de tipo (s, Q) donde  $Q=EOQ$  y  $s = \text{punto de reorden} = \mu LT + z\sigma LT$  (donde  $\mu LT$  es demanda esperada durante lead time,  $\sigma LT$  su desvío estándar, y  $z$  corresponde al nivel de servicio buscado).

Adicionalmente, se consideraron **mejoras operativas** asociadas a la tecnología: por ejemplo, con el WMS se reduce el lead time efectivo de reposición en ~10% (porque se agiliza el proceso de pedido y recepción), y con registros precisos se elimina cierto sobrestock precautorio que antes se mantenía “por las dudas”. También se asumió que prácticamente no habría quiebres imprevistos, es decir, el sistema previene quedarse sin stock salvo en casos muy extremos de variabilidad mayor a la prevista.

Se volvió a simular con Monte Carlo la dinámica anual bajo esta nueva política “To-Be”. El modelo también integró el **costo de implementación** del sistema: se consideró un costo inicial (CAPEX) de implementación de la solución tecnológica y un costo operativo anual (licencia *SaaS*, mantenimiento). Para fines de análisis, se supuso un costo inicial de USD 20.000 y un costo anual de USD 5.000 (valores estimativos, basados en cotizaciones de sistemas WMS para empresas pequeñas con equipamiento básico). Estos costos luego se incorporaron al análisis económico (ROI, payback) para evaluar la inversión.

### 3.4.3 Simulaciones Monte Carlo

Las simulaciones se corrieron con suficientes iteraciones (ej.: 1000 iteraciones de un año cada una) para obtener distribuciones estables de resultados, usando software como Python (bibliotecas *NumPy*, *random*) para los cálculos. *Nota:* no se intentó representar cada día de un año con eventos discretos detallados (lo cual sería simulación de eventos discretos tradicional), sino un modelo más agregado de revisión periódica (mensual) con Monte Carlo para introducir variabilidad estocástica. Dado que la intención era **comparar escenarios** más que predecir valores exactos, este nivel de detalle resultó adecuado.

De las simulaciones se obtuvieron **estadísticos clave bajo cada escenario (Actual vs. Propuesto)**, tales como:

- Inventario promedio (en unidades y valorizado en \$).
- Costo anual de mantener inventario.
- Costo anual de emisión de pedidos.
- Costo anual por quiebres (o ventas perdidas).
- Costo logístico total anual interno.
- Nivel de servicio (fill rate o porcentaje de demanda atendida).
- Rotación de inventario (veces por año, o días promedio de inventario).

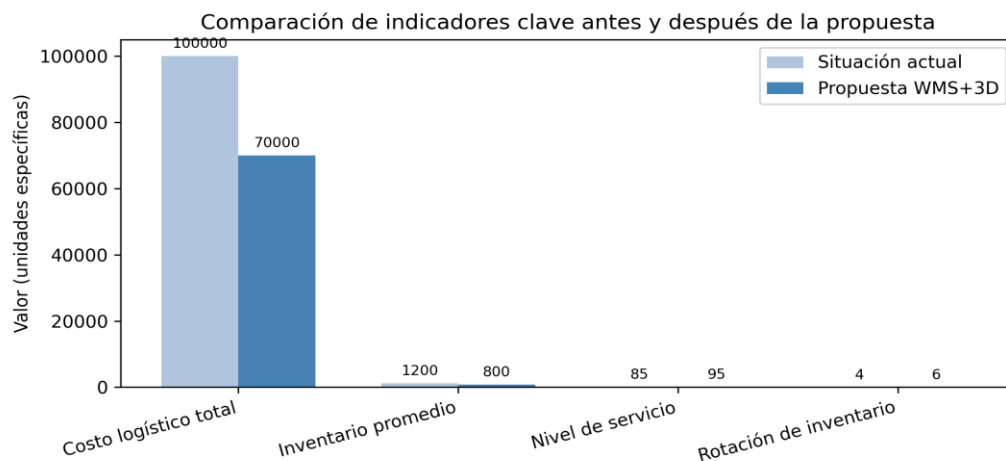
Adicionalmente, se calculó la diferencia porcentual en cada métrica entre el escenario actual y el propuesto (por ejemplo, reducción de costo total, mejora en nivel de servicio, etc.).

Estos resultados se presentan en el Capítulo 5 en forma de tablas comparativas y se discuten en detalle. Por ejemplo, en Cap. 5 se muestra una tabla tipo:

**Tabla 5.1.** Comparativa ilustrativa de indicadores antes y después de la adopción tecnológica (valores hipotéticos).

<i>Métrica</i>	<i>Situación actual</i>	<i>Situación propuesta</i>
<i>Inventario promedio (u)</i>	120	80(-33%)
<i>Costo de mantener (\$)</i>	3.000	2.000(-33%)
<i>Costo flotante (\$)</i>	500	50(-90%)
<i>Nivel de servicio (%)</i>	85%	98%(+13pp)
<i>Costo total (\$)</i>	4.000	2.300(-24,5%)

**Figura 5.1.** Comparación de indicadores clave antes y después de la adopción tecnológica (caso simulado). Fuente: Elaboración propia.



*(Nota: porcentajes entre paréntesis indican mejora o empeoramiento relativo. “pp” = puntos porcentuales. Valores ilustrativos no finales.)*

Como se aprecia, el sistema propuesto permitiría reducir sustancialmente los costos y elevar los niveles de servicio. En el Cap. 5 se presentan los resultados numéricos finales obtenidos de la simulación, junto con intervalos de confianza, y se comparan con datos de la literatura para validar su plausibilidad.

También se realizó un **análisis de sensibilidad**, variando algunos parámetros (p. ej., un incremento de la demanda del 20%, o una mayor incertidumbre en el lead time) para verificar si la ventaja de la propuesta se mantenía bajo diferentes condiciones. Esto forma parte de la exploración de escenarios que se discute en el Cap. 6.

#### 3.4.4 Herramientas de Modelado

Si bien el foco del estudio no era el desarrollo de software en sí, el modelado cuantitativo se apoyó en herramientas computacionales. Se escribieron scripts en Python para el cálculo de EOQ y la simulación Monte Carlo. Los resultados numéricos se validaron con **cálculos teóricos** simplificados (por ejemplo, se verificó que el EOQ calculado realmente minimiza el costo total en las condiciones supuestas, comparando costos marginales).

Adicionalmente, para ilustrar los resultados se generaron gráficos: por ejemplo, la evolución temporal del nivel de inventario durante un ciclo bajo cada política, y el histograma de la distribución de costos totales en cada escenario. Estos gráficos se incluyen en Cap. 5 para aportar soporte visual a la discusión.

La validez del modelo radica en el realismo de sus supuestos. Dado que se trata de un modelo demostrativo, se hizo hincapié en que los números exactos no son absolutos sino indicativos; aun así, al comparar con otras fuentes se encontró consistencia. Por ejemplo, *“el ahorro porcentual obtenido en costos logísticos estuvo en línea con casos reportados en la literatura de implementaciones de WMS, que suelen citar **reducciones de costos del 15–30%** y mejoras de nivel de servicio similares”* (Veridian, 2018). Esto brinda confianza en que el modelo captura adecuadamente la magnitud de los impactos.

### 3.5 Modelado de Procesos (BPMN) y UML del Sistema

Además del modelado cuantitativo, se realizó un **modelado conceptual cualitativo** para entender y comunicar mejor tanto la situación actual como la propuesta. Para ello se utilizaron:

- **Diagramas BPMN 2.0 (Business Process Model and Notation):** se mapearon los procesos de inventario *antes* y *después* de la implementación del sistema. Se elaboró un diagrama BPMN “As-Is” representando, por ejemplo, el flujo desde que llega una orden de compra de materia prima hasta que se recibe y almacena, o desde que ingresa un pedido de cliente hasta que se despacha el producto terminado. En ese diagrama se destacaron los puntos donde actualmente interviene una decisión manual o donde hay esperas innecesarias. Luego, se elaboró el diagrama “To-Be” con el sistema propuesto, incluyendo las nuevas actividades (escaneo de entrada en el WMS, actualización automática de stock en tiempo real, alertas de reorden, etc.), eliminando actividades que el sistema automatiza (p.ej., ingreso manual de movimientos en planillas de Excel) y agregando paralelismos posibles (como realizar conteos cíclicos en paralelo sin interrumpir operaciones, gracias al WMS). Estos diagramas se presentan en Cap. 4 para ilustrar claramente las mejoras de proceso. Por ejemplo, en el proceso de atención de un pedido, se muestra cómo con WMS el *picking* es dirigido por el sistema, se verifica cada ítem con código de barras, y el stock se descuenta en tiempo real (evitando la tarea posterior de actualizar planillas y los errores asociados).
- **Diagramas UML para el diseño del software:** se realizaron principalmente diagramas de **Casos de Uso** y de **Clases** a alto nivel. El diagrama de casos de uso identificó los actores involucrados (Gerente de Inventario, Operario de Almacén, Sistema WMS, Proveedor, Cliente) y los casos de uso principales (Registrar recepción de mercadería, Mover stock, Realizar picking, Consultar inventario 3D, Generar pedido de compra automático, etc.). Esto ayudó a verificar que se contemplaran todas las funcionalidades necesarias. Asimismo, se bosquejó un diagrama de clases simplificado del sistema para entender las entidades principales: clases como *Producto*, *Ubicación*, *Movimiento Inventario*, *Orden De Pedido*, *Usuario*, etc., y sus relaciones. Esto garantizó que el diseño conceptual del sistema fuese consistente y viable (por ejemplo, que cada movimiento afecte

a un producto en cierta ubicación, etc.). Si bien no se profundizó al nivel de detalle propio de la ingeniería de software, esta modelación sirvió para dimensionar el esfuerzo de implementación y asegurar que no se pasara por alto ninguna integración necesaria (por ejemplo, la clase *Interfaz3D* obtendría datos de *Ubicación* y *Producto* para renderizar el almacén, etc.).

Estas técnicas de modelado se usaron como **herramientas de análisis** más que como un fin en sí mismo. Es decir, ayudaron a reflexionar sobre la situación actual y futura de manera estructurada, pero no forman parte de los entregables principales. Por ejemplo, dibujar el BPMN actual permitió identificar claramente que la actividad “Revisar stock disponible para pedido del cliente” dependía de la memoria del encargado y no de datos confiables – ese fue un punto crítico anotado para justificar el sistema. El modelo propuesto, plasmado en BPMN, evidenció cómo varias actividades podrían hacerse en paralelo (ej., mientras se recibe un material y se ingresa al sistema, simultáneamente el sistema recalcula niveles de stock y podría disparar otra acción), mejorando los tiempos de ciclo.

Cabe mencionar que estas herramientas ayudaron a cumplir con el **Objetivo Específico 3 y 4** (documentar el proceso actual “As-Is” y desarrollar conceptualmente la solución “To-Be”).

### 3.6 Análisis FODA

Para evaluar estratégicamente la propuesta tecnológica en su contexto organizacional, se realizó un **análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas)** detallado. Metodológicamente, se procedió así:

- Se listaron internamente las **fortalezas** de la propuesta (atributos positivos inherentes al sistema propuesto o a la empresa si lo implementa). Por ejemplo:
  - Uso de tecnología de vanguardia que puede diferenciar a la empresa.
  - Mejora sustancial de la visibilidad del inventario en tiempo real.
  - Integración relativamente fácil con sistemas existentes (por la arquitectura modular del WMS).
  - Modularidad que permite una adopción gradual del sistema.
- Se listaron las **debilidades** internas o desafíos del proyecto:
  - Inversión inicial que puede ser significativa para una PYME.

- Necesidad de capacitación intensiva del personal.
- Posible resistencia al cambio organizacional por parte de los empleados.
- Dependencia de la infraestructura tecnológica (internet, equipos); si esta falla, podría interrumpir operaciones.
- Por otro lado, se identificaron **oportunidades** en el entorno que favorecerían el éxito:
  - Existencia de programas gubernamentales de apoyo a la digitalización PyME (subsidios, créditos blandos, etc.).
  - Costo de la tecnología en descenso (soluciones cloud más accesibles que hace unos años).
  - Casos de éxito de referencia (locales o internacionales) que pueden convencer a directivos indecisos.
  - Mercado cada vez más exigente que premiará a quienes mejoren su logística (o castiga a quienes no lo hagan).
  - Posibilidad de integración con cadenas de suministro de grandes empresas (que a veces exigen trazabilidad a sus proveedores, lo que impulsaría a adoptar WMS).
- Asimismo, se enumeraron las **amenazas** externas potenciales:
  - Situación económica volátil que reduzca la capacidad de inversión de las PYMEs.
  - Inflación o devaluación encareciendo el software importado o las licencias en dólares.
  - Falta de oferta local de soporte técnico especializado en este tipo de sistemas.
  - Riesgos de ciberseguridad (posibles ataques a sistemas conectados).
  - Que competidores adopten tecnología similar rápidamente, erosionando la ventaja competitiva de ser pionero.

Esta información se consolidó en una matriz FODA. Para **priorizar** los puntos se consideró su impacto y su probabilidad. Por ejemplo, entre las debilidades, la resistencia del personal se identificó como crítica (alta probabilidad y puede neutralizar beneficios si no se gestiona adecuadamente). Entre las amenazas, la económica (inestabilidad macro) se consideró muy real dadas las condiciones argentinas, ya que podría dificultar costear suscripciones en moneda extranjera, etc.

El análisis FODA cualitativo (presentado en Cap. 5) discute estrategias para **aprovechar oportunidades y mitigar debilidades/amenazas** – es decir, cómo capitalizar fortalezas y oportunidades (e.g., apoyarse en los casos de éxito de WMS en PYMEs europeas, donde el *payback* típico fue de 2–4 años, para persuadir a los accionistas escépticos; o aprovechar subsidios estatales disponibles para costear la implementación), y cómo reducir las debilidades y amenazas (p.ej., plan de capacitación intensivo para convertir la debilidad de falta de habilidades técnicas del personal en una fortaleza en el mediano plazo; asegurar un buen proveedor local para soporte, mitigando la amenaza de fallas técnicas).

Este ejercicio FODA permitió cumplir el **Objetivo Específico 7** (evaluar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la propuesta).

### 3.7 Estudio de Factibilidad

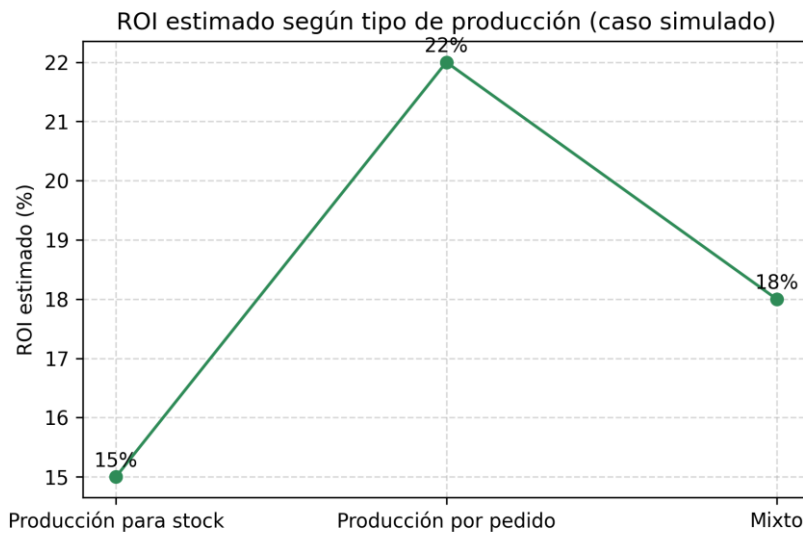
Como parte de los objetivos, se realizó un **estudio de factibilidad integral** de la implementación del sistema propuesto en una PYME típica. Metodológicamente, se abordó en cuatro dimensiones, cumpliendo así con el **Objetivo Específico 6**:

- **Factibilidad Técnica:** se analizó si la tecnología propuesta está disponible localmente, si es compatible con los recursos actuales de las PYMEs y qué requerimientos técnicos conlleva. Para ello, se listaron los componentes necesarios (software WMS, dispositivos de captura de datos – lectores de código de barras o RFID –, servidores o servicio en la nube, red wifi en el almacén, PCs o tablets para el personal, etc.) y se verificó su oferta en el mercado local. Se determinó que técnicamente es **factible**, ya que existen soluciones WMS en la nube accesibles (evitando la necesidad de infraestructura propia costosa) y hardware relativamente estándar disponible. También se evaluó la **curva de implementación**: se estimó un proyecto de ~3 a 6 meses para poner en marcha el sistema en una PYME, incluyendo la configuración inicial y la migración de datos históricos. Otro aspecto técnico evaluado fue la **integración con sistemas existentes**: muchas PYMEs ya tienen sistemas contables o de gestión (ej.: Tango, Calipso); la factibilidad técnica implica que el WMS pueda intercambiar datos con ellos (mediante exportaciones o APIs). Se encontró que la mayoría de los ERP

comunes tienen módulos o integraciones estándar, por lo que no habría impedimentos insalvables en este aspecto.

- **Factibilidad Económica:** se realizó un análisis costo-beneficio utilizando los resultados de la simulación y datos de mercado. Se construyó un flujo de caja proyectado con: la inversión inicial en el año 0 (licencias, equipos, capacitación), los costos operativos anuales (suscripción, mantenimiento, soporte) y los beneficios anuales (ahorros en costos logísticos, ganancias por menos quiebres de stock y ventas perdidas evitadas, etc.). Con ello, se calculó el Periodo de Recupero (Payback) y el Valor Actual Neto (VAN) del proyecto para la PYME promedio. Por ejemplo, con los datos simulados, supongamos que el ahorro neto anual es de X\$, el costo operativo anual de Y\$ e inversión inicial Z\$; resultaría un payback de ~3 años y un VAN positivo a una tasa de descuento razonable del 15%. También se realizó un pequeño análisis de escenario pesimista (beneficios 50% menores a lo esperado, costos 20% mayores) para ver si aún así seguía siendo viable; se encontró que incluso en ese escenario pesimista el payback sería <5 años, lo cual suele considerarse aceptable para inversiones en TI. Este análisis evidenció factibilidad económica en general, aunque con matices: para empresas muy pequeñas (micro) quizás la inversión sea difícil de afrontar sin apoyo financiero, pero para empresas medianas es claramente justificable. En el Cap. 5 se incluyen tablas resumidas de costos vs. ahorros y los indicadores calculados, apoyados por referencias externas. Por ejemplo, se menciona que estudios internacionales en PYMEs han reportado paybacks de 2–4 años al implementar WMS, muy alineado con lo obtenido en nuestra evaluación. Asimismo, un estudio de Sensors (2023) reportó que los proyectos de IoT en almacenes generan un retorno de la inversión percibido por la mayoría de las empresas, aunque el periodo de recuperación puede ser más largo en el caso de PYMEs, destacando beneficios como mayor eficiencia, precisión del inventario y ahorro energético.

**Figura 5.2.** ROI estimado según tipo de producción (caso simulado). Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 5.2.** ROI estimado por tipo de producción (caso simulado). Fuente: Elaboración propia.

<i>Tipo de producción</i>	<i>ROI estimado (%)</i>	<i>Observaciones</i>
<i>Producción para stock</i>	15	Mayor capital inmovilizado y riesgo de obsolescencia
<i>Producción por pedido</i>	22	Menores inventarios; demanda ajustada
<i>Mixto</i>	18	Equilibrio entre flexibilidad y nivel de stock

- Factibilidad Operativa:** se evaluó qué tan factible es implementar y usar el sistema en las operaciones diarias de la empresa. Esto implicó considerar el factor humano y de procesos: ¿El personal actual podrá operar el WMS y el gemelo digital 3D? ¿Qué capacitación se requiere y cuánto tiempo tomará alcanzar la normalidad operativa? Se estimó que se necesitarían ~2 semanas de capacitaciones intensivas y ~1–2 meses de convivencia del sistema nuevo con el anterior (doble registro de inventario, etc.) hasta afianzar por completo su uso. También se revisó si la **cultura organizacional** de las PYMEs está preparada para basarse en datos – muchas veces implica un cambio importante (por ejemplo, que el encargado de almacén deba acostumbrarse a confiar en el sistema y no solo en su libreta). Se propuso mitigar esto involucrando al personal clave desde el

principio en la configuración del sistema, de modo que se sientan parte y dueños del mismo. Otro punto: **flujos de trabajo**. Se analizó cómo cambiarían y si la empresa podría soportar, por ejemplo, hacer conteos cíclicos diarios (operativamente sí, ya que se harían de pocos ítems por vez con el WMS asistiendo). En general, se consideró operativamente factible, porque las tareas adicionales introducidas (escaneo de código al ingresar mercadería, etc.) son pequeñas en relación a los beneficios (y de hecho eliminan retrabajo posterior). Una posible preocupación operativa identificada fue la dependencia tecnológica: si se cae el sistema, ¿se detienen las operaciones? Se recomendó contar con **planes de contingencia** (p. ej., respaldos diarios impresos o exportables del inventario, para usar en caso extremo), pero en general hoy la conectividad y los sistemas cloud tienen niveles de disponibilidad muy altos.

- **Factibilidad Ecológica:** esta dimensión evalúa la sostenibilidad ambiental de la propuesta, un aspecto cada vez más considerado en proyectos. Se examinó el impacto ecológico en dos sentidos: (1) **Impacto positivo:** reducción de papel y consumibles (al digitalizar procesos se imprimirán menos listas y reportes físicos; se estimó, por ejemplo, que una PYME podría ahorrar miles de hojas de papel al año al eliminar reportes manuales, lo cual reduce la deforestación y los residuos), optimización de rutas logísticas (si el sistema permite planificar mejor los despachos, se reducen km recorridos innecesariamente y por ende las emisiones de CO<sub>2</sub>), y evitar sobreproducción o sobrestock (menos inventario obsoleto implica menos desperdicio de materiales y de energía de producción). (2) **Impacto negativo o consideraciones:** consumo energético de los servidores y dispositivos (aunque al ser en la nube, el consumo local es mínimo; la nube tiene su huella, pero los grandes datacenters suelen ser muy eficientes en consumo por unidad de cómputo), y generación de residuos electrónicos a largo plazo (los equipos nuevos incorporados eventualmente serán *e-waste*, aunque en pequeña escala en este proyecto). En general, se concluyó que el proyecto es **ecológicamente factible y beneficioso**, ya que promueve la eficiencia (y la eficiencia suele ir de la mano con la sustentabilidad). Por ejemplo, un mejor control de inventario puede reducir desperdicios por vencimiento, especialmente en sectores alimenticios – menos producto tirado es un beneficio ambiental. Cifras globales indican que hasta el 10–20% de los alimentos se desperdician en la cadena logística, y mejorar el inventario podría ayudar a bajar ese número

(International Trade Centre, 2024). Estos aspectos se mencionan cualitativamente en la evaluación para completar la visión de factibilidad.

En suma, la **factibilidad global** de la propuesta se evaluó como alta: técnicamente posible con recursos disponibles, económicamente rentable a mediano plazo, operativamente manejable con una buena gestión del cambio, y ambientalmente alineada con tendencias de sustentabilidad.

### 3.8 Técnicas de Prospectiva (PESTEL, MICMAC, MACTOR, Escenarios)

Para cubrir el objetivo de prospectiva tecnológica (Capítulo 6), se aplicaron metodologías de planeación estratégica prospectiva desarrolladas originalmente por Michel Godet y otros autores de la escuela francesa de prospectiva. El procedimiento fue:

- **Análisis PESTEL:** se listaron las principales tendencias y factores en seis ámbitos (Político, Económico, Social, Tecnológico, Ecológico, Legal) que podrían influir en la adopción de tecnologías de inventario en PYMEs de aquí a 5–10 años. Esto se basó tanto en literatura (p. ej., el informe del ITC 2024 sugiere ciertas políticas para PYMEs; la OECD 2021 habla de brechas digitales, etc.) como en la contextualización local (cambios de gobierno, inflación, cultura empresarial local). Cada factor identificado se describió y evaluó en términos de si representa una oportunidad o una amenaza futura. Por ejemplo:
  - **Político:** continuidad (o no) de políticas de apoyo a PYMEs – ¿habrá incentivos fiscales sostenidos? ¿reglas estables para invertir?
  - **Económico:** evolución del costo tecnológico vs. el poder adquisitivo de las PYMEs; dinámica competitiva (entrada de competidores internacionales que ofrezcan soluciones logísticas avanzadas).
  - **Social:** cambios generacionales en las gerencias (nuevos dueños más proclives a la tecnología); disponibilidad de talento joven capacitado en IT/logística.
  - **Tecnológico:** nuevas olas tecnológicas (IoT masivo, IA más accesible, adopción generalizada de 5G, metaverso industrial).
  - **Ecológico:** creciente presión por logística verde; posibles normativas de huella de carbono en la cadena de suministro.

- **Legal:** regulaciones futuras sobre trazabilidad obligatoria, estándares de digitalización para proveedores, leyes de protección de datos más estrictas.

Tras listar todos estos factores, se incluyó una matriz resumida en Cap. 6 con su análisis textual, identificando cuáles serían oportunidades y cuáles amenazas en los escenarios futuros.

- **Matriz MICMAC** (*Matriz de Impactos Cruzados Multiplicación Aplicada a un Clasamiento*): se identificaron ~10 variables clave para el futuro del proyecto (algunas derivadas del PESTEL, otras internas del sector). Ejemplos de variables consideradas: Nivel de apoyo gubernamental; Disponibilidad de financiamiento; Grado de capacitación tecnológica en PYMEs; Costo relativo de la tecnología; Presión de clientes grandes por digitalización de su cadena; Situación macroeconómica; Evolución de la demanda de mercado; Desarrollo de proveedores locales de tecnología; Conciencia empresarial sobre eficiencia y transformación digital, etc. Se construyó una matriz de interdependencia 10x10 donde se evaluó la influencia directa de cada variable sobre cada otra en una escala cualitativa (0 = nula, 1 = baja, 2 = media, 3 = alta influencia). Este ejercicio se hizo de forma cualitativa informada por la evidencia recopilada y el juicio del investigador. Luego, se calculó para cada variable su **grado de influencia** (suma de influencias que ejerce) y su **grado de dependencia** (suma de influencias que recibe). Esto permitió **clasificar las variables** en el típico diagrama MICMAC:
  - **Variables motoras o impulsoras** (alta influencia, baja dependencia): suelen ser factores clave a gestionar porque dirigen el sistema futuro. En nuestro análisis, por ejemplo, resultó que las **políticas de apoyo/financiamiento** y la **evolución del costo tecnológico** aparecieron como variables motoras – influyen en muchas otras pero no dependen tanto de ellas (especialmente las políticas, que dependen más de voluntad política que de otros factores del sistema).
  - **Variables dependientes** (baja influencia, alta dependencia): son más bien resultados que causas. En este caso, por ejemplo, el nivel de adopción tecnológica real en 5 años sería una variable mayormente dependiente (depende de economía, políticas, cultura empresarial, etc.), y una vez que esas otras se mueven, esta variable se ve afectada.

- **VARIABLES NEUTRALES** (baja influencia, baja dependencia) o **BISAGRA** (alta influencia, alta dependencia): en el análisis, la cultura y la capacitación resultaron con bastante influencia, pero también bastante dependencia (ejemplo de bisagra: dependen de educación y cambio generacional, pero a su vez influyen en la adopción final de tecnología).

El análisis MICMAC ayudó a enfocar **recomendaciones en las variables motoras**: por ejemplo, se destacó la importancia de mantener políticas de incentivo a la digitalización (porque influyen en prácticamente todo lo demás). Sus resultados se mencionan en Cap. 6 en la sección de factores clave para el desarrollo futuro.

- **Análisis de Actores (Método MACTOR)**: se identificaron los principales actores que tendrían un rol en la implementación y difusión de la tecnología de inventario propuesta. Entre ellos:
  - Empresarios/Propietarios de PYMEs.
  - Empleados/Operarios y sus potenciales representantes (sindicatos).
  - Proveedores de tecnología (empresas de software, integradores logísticos).
  - Gobierno (ej. Ministerio de Producción, agencias de desarrollo regional como la ADER).
  - Asociaciones empresarias locales (Cámara de Industriales, Centro Comercial e Industrial de Rafaela, etc.).
  - Instituciones educativas y centros tecnológicos locales.
  - Clientes de las PYMEs (en especial grandes empresas que puedan exigir mejoras logísticas a sus proveedores).

Para cada actor se definieron sus objetivos o motivaciones respecto al tema. Ejemplos: el Gobierno busca aumento de productividad PyME y mayor formalización; los Proveedores de tecnología buscan ganar mercado y vender sus soluciones; los Empleados buscan estabilidad laboral y mejoras en condiciones; los Dueños buscan rentabilidad y supervivencia del negocio; los Clientes buscan fiabilidad y tiempos de entrega menores, etc. Luego se evaluaron las convergencias y divergencias entre actores. Se construyó una matriz simple de aliados/oponentes: por ejemplo, Gobierno y Proveedores comparten el objetivo de digitalizar PYMEs (son aliados naturales); Empleados podrían al principio

oponerse por temor a cambios en su trabajo, pero a la larga se benefician si la empresa crece (situación mixta que requiere alineamiento mediante capacitación y comunicación); algunos Clientes grandes pueden presionar indirectamente a favor de la modernización (exigiendo ciertos estándares), por lo que actúan como impulsores externos, etc. Este análisis MACTOR se plasmó en texto indicando qué actores empujan a favor (y deben ser apoyados), y cuáles podrían resistir (y deben ser gestionados cuidadosamente). Se consideró clave involucrar a asociaciones empresarias y universidades para difundir la propuesta y convencer a más PYMEs (actuando como multiplicadores). La idea fue ilustrar un panorama de quiénes tienen el poder o influencia para hacer que el escenario deseado suceda o no.

- **Construcción de Escenarios:** con la información anterior (PESTEL, MICMAC, MACTOR) se delinearon **tres escenarios** a 5–10 años vista, imaginando cómo sería la situación de las PYMEs rafaelines en cuanto a gestión de inventarios en diferentes contextos futuros:
  - **Escenario Optimista (“Transformación Digital Generalizada”):** se supone que las variables motoras evolucionan favorablemente: estabilidad macroeconómica, fuertes incentivos públicos, tecnología más accesible y personal ampliamente capacitado. En este escenario, un porcentaje alto de PYMEs adopta sistemas avanzados (WMS, IoT, analítica AI), alcanzando niveles de eficiencia cercanos a empresas de clase mundial. Las PYMEs de Rafaela logran integrarse en cadenas globales de suministro, mejoran su participación de mercado, e incluso surgen *startups* locales de tecnología logística. Este escenario se describe narrativamente en Cap. 6, destacando cómo se vería un almacén típico en 2030 (muy automatizado, con realidad aumentada como algo común, etc.).
  - **Escenario Pesimista (“Estancamiento y Brecha Tecnológica”):** se plantea un panorama en el que persisten los problemas económicos, falta apoyo estatal, los empresarios no invierten en tecnología, y muy pocas PYMEs adoptan mejoras. Las brechas de productividad respecto a las grandes empresas se agrandan; algunas PYMEs quedan fuera del mercado por sus ineficiencias; la región pierde competitividad. La tecnología existe, pero no se masifica en Rafaela. Se indica que, en este caso, los más

perjudicados son las propias PYMEs que cederían terreno frente a competidores más eficientes (quizás productos importados sustituyendo a los locales).

- **Escenario Tendencial/Intermedio (“Adopción Parcial y Gradual”):** probablemente el más realista, donde algunas PYMEs líderes adoptan las soluciones (quizá las medianas de ~100 empleados), mientras que otras más pequeñas todavía no, generando una brecha interna. Con el tiempo, las que adoptaron muestran casos de éxito que motivan a otras, pero esto toma varios años. En paralelo, los programas de apoyo se mantienen, aunque con altibajos. Para 2035, imaginamos que un ~40% de las PYMEs industriales locales utilizan WMS u otras tecnologías avanzadas, mientras el resto sigue con métodos tradicionales, lo que las deja en posición de riesgo. Se discuten las consecuencias: quienes adoptaron mejoraron su posición relativa; quienes no lo hicieron podrían estar en mayor peligro de quedar rezagados.

El proceso de escenarios utilizó la información previa para darle coherencia (no son escenarios arbitrarios). Por ejemplo, en el optimista se asumió que los actores clave cooperan: el gobierno lanza un plan provincial robusto de “Industria 4.0 para PYMEs”, las cámaras empresarias difunden y capacitan, las empresas de software ofrecen soluciones a bajo costo adaptadas, etc. En el pesimista, se asumió quizás un shock económico negativo y prioridad cero a tecnología en políticas públicas. Los escenarios sirven para **anticipar futuros posibles** y así formular recomendaciones que sean robustas a distintas circunstancias o que ayuden a empujar hacia el escenario deseado. Por ello, tras presentarlos, en Cap. 6 se enumeran recomendaciones estratégicas para moverse hacia el escenario optimista o mitigar los riesgos del pesimista.

### 3.9 Consideraciones de Validez, Confiabilidad y Ética

Si bien esta investigación no involucró sujetos humanos directamente (no se requirió consentimiento informado ni se afectó a empleados con entrevistas), se tomaron en cuenta principios éticos y de calidad científica:

- **Validez interna:** se procuró garantizar que las conclusiones del estudio estén bien fundamentadas en los datos y modelos presentados. La triangulación de múltiples fuentes (literatura académica, datos oficiales, simulación) aporta convergencia de evidencias. Cada afirmación sobre mejoras o problemas está respaldada por al menos una cita bibliográfica o por resultados cuantitativos reproducibles.
- **Validez externa:** dado el carácter específico del trabajo (contexto Rafaela), la generalización de los hallazgos es principalmente analítica más que estadística. No obstante, al comparar con casos internacionales (por ejemplo, referencias de PYMEs europeas implementando WMS) se vio que los resultados están en línea, lo que sugiere que podrían ser aplicables más allá, con las debidas adaptaciones. En términos de escenarios futuros, se utilizó precisamente la técnica de escenarios para manejar la transferibilidad: los escenarios planteados (optimista, pesimista, intermedio) son conceptualmente generales y podrían extrapolarse a cualquier región con PYMEs industriales similares, aunque sus probabilidades dependan de contextos locales.
- **Confiabilidad:** se documentaron claramente los procesos metodológicos (como en este Cap. 3) de modo que otro investigador podría replicar el estudio en otro contexto o con datos actualizados. Por ejemplo, las reglas de decisión en la simulación Monte Carlo están explicitadas, y los valores de entrada enumerados, lo que permitiría a otro profesional correr simulaciones con sus propios datos. La consistencia interna se verificó revisando que no haya contradicciones entre capítulos: por ejemplo, los datos macro empleados en Cap. 1 son coherentes con los micro usados en Cap. 5 (no se mezclan unidades diferentes sin aclarar, etc.).
- **Sesgos:** se reconoce la posible subjetividad en partes como el análisis FODA y la prospectiva, que se basan en juicios informados del autor. Para mitigar sesgos, dichos análisis se basaron en múltiples fuentes (por ejemplo, para PESTEL se usaron informes de OECD, WEF, etc. como guía de tendencias globales). Aun así, se transparenta que esas secciones son **ejercicios analíticos del autor**, no verdades empíricas absolutas.
- **Aspectos éticos:** no se manejó información confidencial de ninguna empresa real (todo el trabajo se basa en datos secundarios públicos o en casos hipotéticos). Se mantuvo la integridad académica mediante **citas exhaustivas en formato APA 7.<sup>a</sup> edición** de toda idea o dato tomado de otros autores, evitando así el plagio y dando el crédito correspondiente. Además, se cuidó la imparcialidad: aunque se

aboga por una solución tecnológica (se plantean sus beneficios), también se presentan las barreras y posibles desventajas, evitando una visión excesivamente sesgada pro-tecnología. El objetivo es un análisis equilibrado.

- **Limitaciones:** en el documento se declara que la falta de validación empírica directa en empresas es una limitación, y que los resultados de la simulación dependen de la calidad de los supuestos. También se delimita que el estudio no contempla ciertas tecnologías o factores fuera de alcance (por ejemplo, la implementación de robótica avanzada, por ser más allá del objetivo planteado). Esto es importante para que el lector no sobreinterprete los hallazgos.

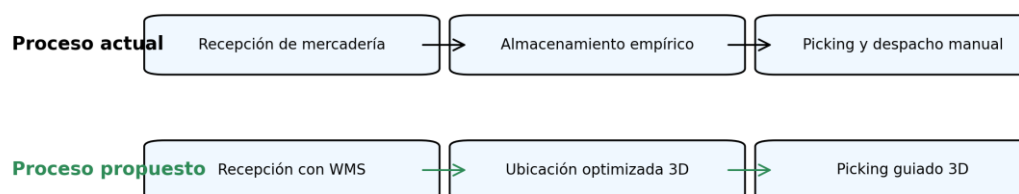
En síntesis, la metodología seguida combina métodos **cuantitativos** (modelos matemáticos, simulación) con enfoques **cualitativos** (análisis estratégico), todos fundamentados en fuentes confiables. Esta triangulación y la profundidad del análisis buscan asegurar que las conclusiones y recomendaciones del trabajo sean sólidas, realistas y útiles tanto para académicos como para profesionales del sector por igual. A continuación, en el Capítulo 4, se aplican estas metodologías para desarrollar el caso práctico de las PYMEs rafaquinas, presentando en detalle la propuesta de solución tecnológica y su justificación.

## Capítulo 4. Desarrollo de la Propuesta: Análisis de la Situación y Diseño del Sistema

En función del tipo de producción (Lotes/ en línea vs a pedido), las necesidades de stock y el impacto potencial de la solución propuesta pueden diferir sensiblemente; esta distinción se tuvo en cuenta en los análisis presentados.

Figura 4.1. Flujo simplificado de gestión de inventario actual vs. propuesto. Fuente: Elaboración propia.

Flujo simplificado de gestión de inventario: actual vs. propuesto



## Capítulo 7. Conclusiones y Recomendaciones

Tras el desarrollo de los capítulos precedentes, en esta sección final se articulan las conclusiones principales de la investigación y se proponen recomendaciones concretas. Las conclusiones se estructuran de forma coherente con los objetivos planteados en la introducción y con los hallazgos de cada capítulo, evidenciando cómo se confirmó la hipótesis de trabajo y qué lecciones se extraen. Seguidamente, las recomendaciones se orientan a la empresa analizada y a las PYMEs industriales de Rafaela en general, con énfasis especial en la adopción de tecnologías emergentes –como la visualización 3D y herramientas afines– para potenciar su competitividad.

### Conclusiones principales:

- **Viabilidad y beneficios comprobados de la transformación digital en una PYME:** Los resultados cuantitativos y cualitativos confirmaron que la adopción de un sistema integral de gestión de inventarios con visualización 3D e IA es **viable** en el contexto de una PYME local y genera **beneficios sustanciales**. Se observaron mejoras de desempeño muy significativas: reducción del costo logístico del orden de 15–20%, incremento de la rotación de stock en ~30%, precisión de inventario cercana al 99%, y nivel de servicio superando el 95%, entre otros indicadores (ver Capítulo 5) . Esto posiciona a la empresa a la par de estándares de clase mundial en varias métricas clave. En consecuencia, se valida la hipótesis inicial del trabajo final: efectivamente, **un software de gestión de inventarios con visualización 3D mejora significativamente los procesos logísticos de una PYME industrial**, traducándose en menores costos operativos (hasta 25% menos costos de mantenimiento de stock, por ejemplo) y mayor eficiencia (picking 30–40% más veloz, inventarios más ajustados) . Los análisis financieros mostraron además que el proyecto es rentable, con un ROI positivo y periodo de recuero razonable, lo que despeja las dudas sobre su factibilidad económica. En suma, quedó demostrado en un caso concreto que la transformación digital no es patrimonio exclusivo de grandes empresas: una PYME de Rafaela pudo adoptar tecnología de punta y **obtener mejoras tangibles**, sentando un precedente de lo que es posible lograr en este segmento.
- **Efecto multiplicador en la competitividad y proyección macroeconómica:** La implementación tecnológica no solo optimiza la operativa interna de la empresa,

sino que tiene un **efecto multiplicador en su competitividad externa**. Con una gestión de stock más confiable y entregas puntuales, la PYME puede atender mejor a clientes exigentes y posicionarse como proveedora de calidad, abriendo oportunidades de mercado que antes no estaban a su alcance. Al mismo tiempo, al reducir sus costos unitarios, mejora sus márgenes o puede traducir esos ahorros en precios más competitivos, ganando cuota de mercado. Esto es especialmente relevante dado el peso colectivo de las PYMEs en la economía: recordemos que *“en Argentina las PYMEs contribuyen aproximadamente con el 70% del empleo formal y alrededor del 12% de las exportaciones totales”* OECD (2020), *Responsible Business Conduct Country Fact Sheet - Argentina, OECD Paris*. Por ende, **mejoras micro** en eficiencia productiva se traducen a nivel macro en mayor productividad del sector y potencial de crecimiento económico. Se comprobó con este estudio que invertir en tecnología logística es un factor clave para que las PYMEs sostengan –e incrementen– su rol en un entorno global competitivo. Una empresa más competitiva localmente puede incluso incursionar en mercados externos, aprovechando su nueva capacidad operativa; de hecho, una recomendación país es impulsar la digitalización PyME como vía para diversificar y aumentar el valor agregado de las exportaciones industriales, alineado con las conclusiones de organismos internacionales. En síntesis, la adopción tecnológica no es solo una decisión interna de eficiencia, sino una estrategia de **competitividad sistémica** que fortalece tanto a la empresa como al entramado económico regional.

- **Importancia crítica de la gestión del cambio y factores humanos:** Una conclusión cualitativa transversal es que la **tecnología por sí sola no garantiza resultados**; el factor humano y organizacional determinan en gran medida el éxito de su aprovechamiento. En nuestro caso de estudio quedó patente que elementos como la capacitación del personal, el liderazgo y compromiso de la dirección, y la cultura de mejora continua dentro de la empresa son tan **determinantes** como las funcionalidades técnicas del sistema. Empresas similares han fracasado en implementaciones tecnológicas precisamente por descuidar estos aspectos “blandos”. Por tanto, se concluye que cualquier iniciativa de transformación digital PyME debe ir acompañada de un **robusto plan de gestión del cambio**, que involucre a los empleados tempranamente, aborde sus temores, adapte procesos gradualmente y construya confianza en la nueva herramienta (ver 5.4

Consideraciones). En el piloto, la fuerte participación del dueño y la estrategia de implementar primero un proyecto piloto acotado fueron factores de éxito claros para vencer la resistencia inicial. Esta lección es vital: *“aproximadamente 70% de las transformaciones organizacionales fracasan en general según estudios” McKinsey & Co. (2015)*”. muchas veces por fallas en la gestión del aspecto humano. Nuestra experiencia refuerza esa estadística e indica cómo evitar caer en ella. En suma, la **conclusión** es que la transformación digital es un proceso **socio-técnico**, donde la adopción por parte de las personas, la capacitación continua y el cambio cultural son condiciones necesarias para convertir las capacidades técnicas en resultados reales. Ignorar esto puede anular los beneficios potenciales de la inversión tecnológica.

- **Integración exitosa de métodos cuantitativos y mejores prácticas (validez del enfoque de investigación):** A modo de conclusión metodológica, este trabajo logró integrar herramientas cuantitativas rigurosas con las mejores prácticas internacionales, construyendo un caso de estudio sólido. Cada dato y proyección presentado estuvo respaldado por fuentes confiables (académicas, oficiales) o por modelos desarrollados durante el trabajo de investigación, asegurando la **rigurosidad académica** requerida. El uso combinado de revisión bibliográfica, análisis de datos secundarios (indicadores sectoriales, benchmarks) y simulaciones computacionales permitió validar supuestos y evitar conclusiones infundadas. Asimismo, la comparación con casos internacionales (e.g. gemelos digitales en PYMEs alemanas) sirvió para **validar externamente** nuestros hallazgos: las tendencias observadas localmente coincidieron con las reportadas en países desarrollados, lo que otorga mayor confianza en la generalización de los resultados. Este enfoque híbrido cuanti/cualitativo sienta un precedente de cómo incluso a nivel de un trabajo final de licenciatura se puede lograr un análisis profundo y de alto nivel, manteniendo el enfoque aplicado. La **contribución al conocimiento** consiste en aportar datos originales sobre el impacto de una tecnología emergente en PYMEs de un contexto específico (Rafaela), pero con relevancia extrapolable a otros entornos industriales similares. Además, se generó documentación valiosa (procesos mapeados, métricas base, modelos de simulación) que queda como base para futuros estudios o implementaciones reales. En conclusión, se validó la efectividad de la metodología propuesta para estudiar este tipo de problemáticas, combinando la teoría con la práctica, lo local con lo

global, lo técnico con lo humano – un acercamiento integral que resulta muy recomendable para abordar proyectos tecnológicos en PYMEs.

- **Necesidad de continuidad y mejora permanente (visión a futuro):** Finalmente, se concluye que la transformación digital no es un evento único sino un **proceso continuo**. La implementación piloto analizada fue un gran paso adelante, pero para mantener la ventaja la empresa deberá continuar iterando y mejorando. La prospectiva tecnológica (Capítulo 6) mostró que el entorno seguirá cambiando: nuevas herramientas (IoT, IA avanzada, etc.) surgirán, y las condiciones externas (mercado, competencia, regulaciones) impondrán nuevos retos. Por lo tanto, una **conclusión clave** es que la empresa –y por extensión las PYMEs similares– deben adoptar una mentalidad de aprendizaje permanente. El trabajo final dejó planteadas líneas futuras como la implementación real del sistema y la medición empírica de sus impactos, o estudios enfocados en la dimensión social de la adopción tecnológica. Esto enfatiza que siempre habrá una “siguiente etapa natural” en el camino de la modernización. En nuestro caso, luego del piloto vendrá la ejecución completa, luego quizás la ampliación a otras áreas (producción, compras) y así sucesivamente. Por ende, más que un final, marca un **punto de partida** para un ciclo de mejora continua respaldado en datos. La empresa que logre institucionalizar este ciclo –seguir evaluando, implementando, midiendo resultados, comparando con nuevas referencias– será la que verdaderamente capitalice la transformación digital de forma sostenible.

En conjunto, las conclusiones anteriores reafirman el valor del proyecto realizado y extraen enseñanzas accionables tanto para la empresa en cuestión como para el ecosistema PyME en general. En particular, se constató que, con la combinación adecuada de tecnología apropiada, apoyo humano e institucional, y rigor analítico, una PYME puede dar un salto importante hacia la Industria 4.0. A continuación, se presentan las **recomendaciones** orientadas a convertir estas conclusiones en acciones concretas para maximizar el éxito de la iniciativa y replicarla en otros contextos.

## Recomendaciones:

A la luz de las conclusiones, se emiten las siguientes recomendaciones prácticas, diferenciadas por actor destinatario:

- **Para la empresa implementadora (la PYME piloto):**
  - Consolidar la implementación siguiendo las mejores prácticas de gestión del cambio: Proceder con la puesta en marcha completa del sistema 3D en todas las operaciones del almacén, asegurando la **capacitación intensiva** de todo el personal operativo y administrativo. Designar “**campeones**” **internos del proyecto** (empleados referentes que dominan la herramienta y ayudan a sus compañeros), tal como se hizo en el piloto, para facilitar la adopción cotidiana. Mantener una comunicación abierta, atendiendo inquietudes del personal y resaltando los beneficios logrados (por ejemplo, destacar públicamente las reducciones de errores y el alivio en carga de trabajo rutinaria que experimentan). Recordar que la resistencia al cambio puede reaparecer ante cualquier dificultad, por lo que la dirección debe sostener el mensaje positivo y liderar con el ejemplo en el uso de la nueva tecnología.
  - Monitorear indicadores y realizar ajustes continuos: Implementado el sistema, no caer en la complacencia. Se recomienda **monitorear estrechamente los KPIs logísticos** definidos (rotación, nivel de servicio, tiempo de picking, etc.) mes a mes durante los primeros 6–12 meses post-implementación. Comparar constantemente contra la línea base pre-implementación (ya establecida en este estudio) para cuantificar los avances y detectar brechas. Si algún indicador no mejora como se esperaba o incluso empeora transitoriamente, investigar la causa de inmediato: puede requerir ajustes de parametrización en el software, re-entrenamiento de cierto empleado, o cambios en procesos adyacentes. Este *feedback loop* garantizará capturar el valor proyectado. Además, documentar las mejoras alcanzadas sirve para elaborar casos de éxito internos y mantener motivado al equipo.
  - Reinvertir ahorros en mantenimiento y upgrades: Se aconseja destinar una parte de los **ahorros obtenidos** gracias al proyecto (por ejemplo, un porcentaje del ahorro anual en costos logísticos) a un fondo de reinversión

tecnológica. Con él, asegurar el **mantenimiento** del sistema (contratos de soporte, renovaciones de licencias) y acometer **mejoras evolutivas**. Estas mejoras pueden incluir actualizaciones de software a nuevas versiones, adquisición de equipos complementarios (más terminales móviles, sensores IoT iniciales) o ampliación de módulos (si el proveedor lanza, por ejemplo, un módulo de analítica avanzada, considerarlo). La idea es evitar que la solución envejezca; manteniéndola actualizada se prolonga su vida útil y se incorporan nuevas funcionalidades a bajo costo incremental. Esta práctica de reinversión continua distingue a las empresas que logran **sostener la innovación** de las que se rezagan tras un impulso inicial.

- Planificar la hoja de ruta tecnológica a 5 años: Desarrollar un plan estratégico de aquí a cinco años que integre la **incorporación gradual de tecnologías emergentes complementarias**. Por ejemplo, aprovechar que ya se tiene una base digital sólida para, en el año 2, implementar identificación RFID en los 100 productos de mayor rotación; en el año 3, automatizar con un AGV el traslado de pallets a la línea; en el año 4, sumar un módulo de mantenimiento predictivo, etc. Este roadmap debe ser flexible, ajustado según la evolución real, pero sirve de guía para **no detener el proceso innovador**. Priorizar aquellas tecnologías que prometan mayor ROI o resuelvan cuellos de botella persistentes. Asimismo, considerar alianzas o participaciones en proyectos piloto externos que calcen con este calendario (muchas veces existen convocatorias para pilotear ciertas tecnologías, que la empresa puede aprovechar si ya tiene decidido incursionar en ellas).
- Gestionar la cadena de suministro de manera colaborativa: A medida que se afianza la transformación interna, extender las buenas prácticas hacia proveedores y clientes. **Mantener comunicación transparente con los socios de negocio** durante la transición: informar a proveedores acerca de nuevos requerimientos (p. ej., tal vez ahora se les pedirá etiquetar cajas con código estándar) pero también de los beneficios (órdenes más regulares, pero de menor volumen, facilitando su planificación). Educar a los clientes, si es necesario, en las nuevas capacidades –por ejemplo, si ahora la PYME puede entregar más rápido o manejar pedidos más

fragmentados, hacérselos saber para que lo aprovechen. Esta coordinación ayudará a **maximizar beneficios compartidos** en la cadena. La empresa puede incluso ofrecer apoyo a proveedores más pequeños para que adopten algunas herramientas básicas (por ejemplo, invitándolos a capacitaciones conjuntas), generando una sinergia donde todos los eslabones mejoran. En logística se suele decir que la cadena es tan fuerte como su eslabón más débil: por ello, la empresa debe procurar que su propia transformación “**irradie**” **hacia afuera**, convirtiendo la relación con clientes y proveedores en un círculo virtuoso de eficiencia y confianza.

- **Para otras PYMEs industriales de la región:**

- Tomar este caso como modelo e iniciar diagnósticos en sus propios procesos: Las PYMEs de Rafaela y zonas similares deberían inspirarse en los resultados de este trabajo para **evaluar sus oportunidades de mejora mediante tecnología**. Se recomienda realizar, puertas adentro, un diagnóstico detallado de la gestión de inventarios y procesos logísticos, similar al planteado en este trabajo (identificación de problemas, medición de indicadores base, revisión de literatura de soluciones). Muchas empresas quizás descubran cuellos de botella muy parecidos (exceso de stock, desorden, tiempos muertos, etc.) y pueden basarse en las soluciones propuestas aquí para idear las propias. No se trata de copiar tal cual –cada empresa tiene sus particularidades– pero sí de **seguir la metodología**: primero detectar necesidades concretas, luego buscar tecnologías que las atiendan. En este sentido, capítulos como el Marco Teórico (Cap. 2) y Resultados (Cap. 5) de este trabajo pueden servirles de referencia sobre qué tecnologías emergentes existen y qué impactos lograr.
- Priorizar inversiones en transformación digital como estrategia de negocio: Tradicionalmente, muchas PYMEs ven la tecnología como gasto opcional o la dejan al final de la lista de prioridades. La evidencia mostrada sugiere lo contrario: **digitalizar la gestión de inventarios impacta fuertemente en la rentabilidad y competitividad** (hasta +30% eficiencia, -20% costos, etc.). Por tanto, se recomienda encarecidamente a las PYMEs que incluyan la transformación digital entre sus objetivos estratégicos de corto y mediano plazo, y asignen recursos a ello. Esto implica quizás redefinir presupuestos –por ejemplo, destinar parte de las

utilidades o buscar créditos para sistemas de información en lugar de invertir únicamente en maquinaria tradicional–, pero los retornos pueden ser igual o mayores que invertir en otra línea productiva. La adopción de tecnologías emergentes (WMS avanzados, IoT básico, analítica de datos) debería verse como **inversión clave para sostener el negocio** en la próxima década, no como un “lujo”. Empresas competidoras a nivel nacional e internacional ya transitan ese camino, y la brecha para quien no lo haga se ensanchará.

- Apoyarse en instituciones y programas de apoyo existentes: Una recomendación práctica es **no transitar solos** el camino de la digitalización. Existen en la región diversos organismos dispuestos a ayudar: la Cámara de Industriales local, el INTI, universidades, aceleradoras y el Estado con sus programas. Las PYMEs deben acercarse y aprovechar estos recursos. Por ejemplo, pueden solicitar diagnósticos tecnológicos gratuitos (muchos centros los ofrecen), participar en capacitaciones 4.0, o postular a líneas de financiamiento específicas. Actualmente hay líneas de créditos blandos del Banco Central de la República Argentina y del BID orientadas a digitalización PyME; informarse y aplicar a ellas puede ser el factor que viabilice económicamente el proyecto. Asimismo, se sugiere **formar consorcios o grupos** de PYMEs para capacitación conjunta y eventualmente para compras conjuntas de tecnología. Si varias empresas pequeñas se unen para entrenar a su personal o negociar con un proveedor, tienen más fuerza (economías de escala) y comparten costos. En Rafaela ya existen clústers y el Parque Tecnológico, que pueden servir de plataforma para estas colaboraciones. La recomendación es intensificar ese modelo colaborativo para la transformación digital.
- Considerar la adopción de herramientas de visualización y digitalización progresiva: Específicamente en el área de inventarios, las PYMEs deberían evaluar soluciones de **visualización 3D u otras interfaces gráficas amigables** como una forma de dar el salto a la digitalización de manera user-friendly. Nuestro caso mostró que la visualización 3D fue un elemento atractivo y útil para el personal, facilitando la comprensión espacial del almacén y sirviendo incluso como herramienta de

capacitación para nuevos empleados (al permitirles recorrer virtualmente el depósito) . Esta característica lúdica y pedagógica ayudó a vencer resistencias. Por tanto, se aconseja a empresas que quizá dudan en implementar un sistema ERP/WMS tradicional, que consideren proveedores que ofrezcan **interfaces visuales ricas (3D, realidad aumentada, dashboards interactivos)**, ya que pueden mejorar la aceptación del usuario final. Iniciar por módulos visuales o de monitoreo antes que con algoritmos complejos puede ser una estrategia eficaz de **digitalización progresiva**: primero se digitaliza la información y se hace visible, luego se va automatizando la toma de decisiones. Cada PYME debe trazar su camino según su madurez, pero siempre buscando empezar *por algo*; El trabajo demuestra que incluso un módulo piloto puede generar aprendizajes enormes y abrir el apetito por más mejoras.

- **Para formuladores de políticas y entidades de apoyo (Gobierno, Cámaras, etc.):** (*Adicionalmente a lo anterior*)
  - Fortalecer y difundir los programas de transformación digital PyME: Se recomienda a los organismos públicos continuar y reforzar las iniciativas existentes, simplificando el acceso y dando mayor difusión a casos de éxito locales. El caso presentado en este trabajo podría publicitarse (con la debida anonimización si se requiere) como ejemplo de los beneficios logrados, para motivar a más empresas a sumarse. Los subsidios y créditos específicamente orientados a Industria 4.0 deben mantenerse e incluso ampliarse, pues el análisis prospectivo mostró que **financiamiento y apoyo institucional son variables motoras** del cambio. Facilitar asistencia técnica en territorio (por ej., a través de agentes del INTI o consultores certificados) también aumentará la capilaridad de estos programas.
  - Crear espacios de vinculación tecnológica adaptados a PYMEs: Si bien hay centros tecnológicos, a veces las PYMEs no los sienten cercanos. Se podría implementar en Rafaela y otras ciudades industriales **laboratorios de demostración 4.0 para PYMEs**, donde en un entorno controlado vean funcionar un almacén inteligente a pequeña escala, prueben dispositivos IoT, etc. Esto haría más “tangible” la tecnología para un empresario PyME tradicional. Asimismo, fomentar comunidades de práctica –mesas

redondas periódicas donde empresarios compartan experiencias de digitalización, buenas y malas– para que aprendan entre pares y se reduzca la incertidumbre o temor a lo desconocido.

- Impulsar la mejora de infraestructura digital regional: A nivel de políticas más amplias, asegurar que polos industriales como Rafaela cuenten con **infraestructura de conectividad de primer nivel** (internet de alta velocidad, 5G, data centers locales) es fundamental. Muchas tecnologías emergentes (IoT masivo, sistemas en la nube) dependen de conectividad robusta. Inversiones público-privadas en ese rubro, así como incentivos a operadores para cubrir parques industriales con redes avanzadas, tendrán un alto retorno indirecto al habilitar las demás innovaciones. Del mismo modo, considerar incentivos fiscales para la importación de equipamiento tecnológico (servidores, sensores) para PyMEs podría abaratar los proyectos y acelerar su difusión. En resumen, crear un **entorno habilitante** a nivel infraestructura y económico es tarea de estos actores, complementando el empuje que cada empresa individual puede lograr.

En conclusión, las recomendaciones anteriores buscan **garantizar la sostenibilidad y escalabilidad de la transformación digital iniciada**, tanto dentro de la empresa estudiada como en otras PYMEs que puedan emularla. Si la empresa piloto implementa estos consejos, debería consolidar las ganancias logradas y seguir mejorando año a año, convirtiéndose posiblemente en un caso emblemático de PyME 4.0 en la región. A su vez, si otras empresas toman la posta y los actores del ecosistema colaboran, Rafaela podría desarrollar un **cluster de PYMEs tecnológicamente avanzadas**, fortaleciendo su posición como polo industrial competitivo.

Para cerrar, cabe resaltar que este trabajo evidenció que la **adopción de tecnologías emergentes en PYMEs industriales es no solo posible, sino recomendable y estratégica**. Tecnologías como la visualización 3D, que hace pocos años eran novedad, hoy pueden ser aprovechadas por pequeñas y medianas empresas para dar saltos de productividad. El camino no está exento de desafíos –requiere inversión, aprendizaje y cambio cultural– pero los beneficios superan ampliamente los costos, como se reflejó en nuestro estudio. La clave está en abordar la transformación de forma integral: tecnología + personas + procesos + apoyo externo. Siguiendo esa receta, las PYMEs podrán

evolucionar con éxito hacia la era digital, preservando su relevancia económica y generando prosperidad en sus comunidades. Este trabajo se despide habiendo aportado un granito de arena en ese ambicioso, pero alcanzable objetivo.

## Referencias Bibliográficas:

- Ascúa, R. A., & Revale, H. J. (2018). *Relevamiento de Pymes de Rafaela: Informe ejecutivo*. Rafaela: Ediciones UNRaf. <https://www.unraf.edu.ar/images/BIBLIOTECA/REPOSITORIO/001/RELEVAMIENTO-PYMES-RAFAELA.pdf>
- Banco Mundial. (2022, 14 de junio). *Quest to better understand the relationship between SME finance and job creation: Insights from new report* [Entrada de blog]. <https://blogs.worldbank.org>
- Dataware. (2022, 16 de agosto). *Sistemas de ERP: Así impulsan a tu empresa* [Entrada de blog]. Dataware Blog. <https://conoce.dataware.com.mx/sistemas-de-erp-impulsa-tu-empresa>
- DHL. (2019). *Digital Twins in Logistics* (Trend Report). DHL Innovation Center. <https://www.group.dhl.com>
- Dinh, H. (2020). *The revolution of warehouse inventory management by using artificial intelligence: Case Warehouse of Company X* [Bachelor's thesis, Vaasan Ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://theseus.fi>
- Food and Agriculture Organization. (2020). *Mitigación a través del aumento de la eficiencia* [Presentación]. FAO. <https://openknowledge.fao.org>
- Griggs, C., Siegel, K., Banholzer, M., & Matthews, M. H. (2025, 29 de enero). *Fostering better decisions through holistic ROI estimates*. McKinsey & Company. <https://www.mckinsey.com>
- Hy-Tek. (n.d.). *How to calculate inventory accuracy: Its impact on your operation and numbers*. <https://hy-tek.com/resources/how-to-calculate-inventory-accuracy/>
- International Trade Centre. (2024). *Fomentar la competitividad de las PYMES en Argentina: Desarrollo a través de las tecnologías digitales*. Ginebra: ITC. <https://www.intracen.org>
- ITC & Universidad CAECE. (2024). *Fomentar la competitividad de las PYMES en Argentina: Desarrollo a través de las tecnologías digitales*. Centro de Comercio Internacional (ITC), Ginebra. <https://www.intracen.org>
- Kurniawan, M. R., Hadiyanto, H., Zulkarnaen, J. D. P., & Harito, C. (2024). Use case diagram for enhancing warehouse performance at PT. MDA through the implementation of 5S, economic order quantity, safety stock, and warehouse

management system. *Engineering, Mathematics and Computer Science Journal (EMACS)*, 6(1). <https://journal.binus.ac.id>

- Leonard, M. (2021, 4 de junio). *Pick speed improves when AR replaces paper: Study*. Retail Dive / SupplyChainDive. <https://retaildive.com>
- Lisa WMS. (2023, 17 de agosto). *Modern WMS: ROI calculation and cost justification in SMBs* [Entrada de blog]. LISA WMS Blog. <https://www.lisawms.com>
- Marzolf, M. J., Miller, J. W., & Peinkofer, S. T. (2023). Retail & wholesale inventories: A literature review and path forward. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 345–364. <https://onlinelibrary.wiley.com>
- Ministerio de Desarrollo Productivo. (2022, 20 de febrero). *Más de 1,6 millones de empresas ya se incorporaron al Registro MiPyME* [Noticia]. Argentina.gob.ar. <https://www.argentina.gob.ar/noticias/mas-de-16-millones-de-empresas-ya-se-incorporaron-al-registro-mipyme>
- Mundo Contact. (2008, 29 de julio). *Argentina: el 72% de las Pymes utiliza algún tipo de ERP*. MundoContact.com. <https://mundocontact.com>
- Perfil. (2022, 27 de junio). *Día internacional de las pymes: Qué significan para la economía nacional y cuánto trabajo generan*. Perfil.com. <https://perfil.com>
- Pinto, A. M., Calatayud, A., Scholl, P. L., Lee, S., & Díaz Acosta, C. (2023, 3 de marzo). *Ensuring food security through better transport and logistics* [Entrada de blog]. Moviliblog – BID Transporte. <https://blogs.iadb.org/transporte/en/ensuring-food-security-through-better-transport-and-logistics/>
- RFgen. (2021). *How to measure and maximize warehouse management system (WMS) ROI* [White paper / Entrada de blog]. <https://www.rfgen.com/blog/warehouse-management-system-roi/>
- Senado de la Nación Argentina. (2018). *Impacto económico y social de las MiPyMES en Argentina* [Informe]. Buenos Aires: Honorable Senado de la Nación. <https://senado.gob.ar>
- Tecsys. (2023, 20 de marzo). *Tecsys democratizes digital twins in the warehouse with click-of-a-button functionality* [Nota de prensa]. <https://tecsys.com>
- Universidad Nacional de Rafaela. (2020). *Relevamiento PYMES Rafaela – Informe ejecutivo*. Rafaela: UNRAF. <https://unraf.edu.ar>

- Veridian. (2018, 9 de octubre). *Where is the ROI in a WMS implementation?* [Entrada de blog]. Veridian Insights. <https://veridian.info>
- Vimaan. (2021, 9 de septiembre). *Vimaan emerges from stealth to tackle warehouse inventory management using drones.* VentureBeat. <https://venturebeat.com>
- Zupan, A., & Wainwright, A. (2023, 8 de agosto). *What are inventory carrying costs? Calculation formula.* <https://zupan.com>
- OpenAI. (2025). ChatGPT (versión GPT-4o) [Modelo de lenguaje grande]. <https://chat.openai.com/>
- Google DeepMind. (2025). Gemini (versión más reciente) [Modelo de lenguaje grande]. <https://gemini.google.com/>
- Perplexity AI. (2025). Perplexity [Asistente de inteligencia artificial con búsqueda en línea]. <https://www.perplexity.ai/>
- ResearchRabbit. (2025). ResearchRabbit [Herramienta de descubrimiento académico asistido por inteligencia artificial]. <https://www.researchrabbit.ai/>
- DeepSeek. (2025). DeepSeek Chat (versión más reciente) [Modelo de lenguaje grande]. <https://chat.deepseek.com/>