

Automatización de una bodega de distribución masiva en Temuco mediante montacargas autónomos: comparación técnico-económica frente a operación humana

Autor: Andres Atala Rosas

Correo: a.atala01@ufromail.cl

Fecha: 2026-09-22

Resumen

La automatización del transporte interno es una tendencia relevante para centros de distribución que operan de manera continua y enfrentan picos de demanda asociados al comercio electrónico. Este informe analizó un caso hipotético de una bodega de distribución masiva en Temuco, comparando durante tres meses una zona atendida por cuatro grúas horquilla convencionales operadas por personas y otra zona equivalente con cuatro montacargas autónomos provistos de sensores, navegación LiDAR y software de gestión. El periodo de simulación comprendió mayo, junio y julio de 2026 e incorporó una ventana de alta demanda alrededor del CyberDay 2026. Mediante información técnica de fabricantes, referencias de costos del mercado, antecedentes laborales chilenos y supuestos explícitos se estimó la inversión, disponibilidad y capacidad de ambas alternativas. El escenario central estimó una inversión instalada cercana a CLP 462,9 millones para cuatro unidades autónomas y una capacidad potencial 12,2% superior a la flota manual bajo los supuestos adoptados. En tres meses la alternativa manual resultó más económica por no considerar reemplazo de sus equipos existentes, mientras que la automatización mostró ventajas de continuidad, escalabilidad y menor dependencia de dotación, con un periodo simple de recuperación aproximado de 2,4 años. Se concluye que la automatización es especialmente atractiva en operaciones 24/7 y de alta repetitividad, pero requiere justificar su costo mediante horizonte de largo plazo, integración segura y medidas de ciberseguridad.

1. Introducción

La automatización de procesos productivos y logísticos no se limita a reemplazar una acción manual por una máquina. En la Semana 02 del curso se reforzó la idea de que un sistema de control automático integra elementos que actúan sobre un proceso con menor intervención humana y que puede representarse mediante entradas, procesamiento, acciones y realimentación. En una bodega, esa lógica puede trasladarse al movimiento de pallets: el sistema recibe una misión, determina una ruta, mide continuamente su entorno mediante sensores, corrige su desplazamiento y ejecuta la entrega de carga.

Dentro de las tendencias recientes se encuentran las grúas horquilla autónomas, también denominadas automated guided forklifts (AGF) o, según su arquitectura de navegación, vehículos móviles autónomos para manejo de materiales. Estos equipos combinan sensores de distancia y seguridad, localización, control de movimiento, gestión de flota y algoritmos de asignación de tareas. Modelos comerciales actuales utilizan navegación basada en LiDAR y mapas de características naturales. Por ejemplo, Toyota declara navegación LiDAR y detección de obstáculos en su CB18, mientras que AGILOX ofrece el OCF como montacargas autónomo contrabalanceado con capacidad de hasta 1.500 kg y coordinación dinámica de flota (AGILOX, s.f.; Toyota Material Handling, s.f.).

La aplicación resulta especialmente pertinente en centros de distribución de alta rotación. En Chile, el CyberDay 2026 se realizó entre el 1 y el 3 de junio y cerró con más de 5,1 millones de transacciones y ventas por US\$ 531 millones a nivel nacional, lo que ilustra la magnitud de los picos de comercio electrónico y la presión que estos eventos pueden ejercer sobre recepción, almacenamiento, picking y despacho (Cámara de Comercio de Santiago [CCS], 2026). En este informe no se atribuyen esas cifras directamente a Temuco; se utilizan únicamente para justificar un escenario de estrés logístico en una bodega hipotética de distribución masiva ubicada en la ciudad.

La idea del caso surgió de la observación personal de montacargas autónomos capaces de desplazarse mediante sensores, incluso con baja dependencia de la iluminación visible. Esta observación se relaciona con la tecnología LiDAR, que emite su propia señal óptica y puede operar en condiciones nocturnas o de baja iluminación ambiental; sin embargo, una operación real no debería eliminar iluminación indiscriminadamente, porque pueden existir cámaras, personal de mantenimiento, circulación mixta y exigencias de seguridad (Ouster, s.f.).

2. Objetivo

Analizar la viabilidad técnico-económica de automatizar el transporte interno de una bodega de distribución masiva en Temuco mediante cuatro montacargas autónomos, comparándolos con cuatro grúas horquilla convencionales operadas por personas durante un periodo de tres meses que incluya un escenario de demanda máxima asociado al CyberDay, con el propósito de estimar costos, capacidad operativa, ventajas, riesgos y un modelo de negocio aplicable a una pequeña empresa integradora.

3. Metodología

El trabajo se desarrolló como un estudio comparativo y de simulación. Primero se definió un caso hipotético de bodega de distribución masiva en Temuco, similar por función a un centro de fulfillment o paquetería, sin atribuir la configuración analizada a una empresa real. Se consideraron dos sectores equivalentes: un sector manual con cuatro grúas horquilla operadas las 24 horas mediante turnos y un sector automatizado con cuatro montacargas autónomos. La comparación cubrió mayo, junio y julio de 2026, equivalentes a 92 días.

Para representar el peak se incorporó una ventana de siete días alrededor del CyberDay. El evento comercial real tuvo una duración de tres días, pero se extendió la ventana de simulación a siete días para representar preparación, acumulación y despacho posterior de pedidos. Se utilizaron 85 días de demanda normal y 7 días de alta demanda. Los niveles de demanda, disponibilidad y movimientos por hora se trataron como supuestos del modelo y no como mediciones de una empresa específica.

La investigación técnica se realizó con fichas y páginas de fabricantes de montacargas autónomos, material sobre navegación LiDAR y referencias de costos de vehículos AGV/AGF. Para el contexto chileno se consultaron la Dirección del Trabajo, el Banco Central de Chile y ofertas laborales de operadores de grúa horquilla en Temuco. El cálculo económico se expresó en dólares estadounidenses y pesos chilenos. Para convertir la inversión se utilizó el dólar observado de CLP 918,42 por US\$ informado para el 27 de agosto de 2026, última observación hábil cercana a la fecha del informe (Banco Central de Chile, 2026).

El dimensionamiento de personal se calculó a partir de la jornada ordinaria máxima de 42 horas semanales vigente desde el 26 de abril de 2026. Mantener cuatro equipos atendidos 24/7 requiere 672 horas-operador por semana; al dividir por 42 horas se obtiene un mínimo teórico de 16 trabajadores equivalentes a jornada completa. Para cubrir descansos, ausencias y relevo se utilizó una dotación modelada de 18 personas. Como referencia, ofertas recientes en Temuco muestran remuneraciones líquidas aproximadas entre CLP 640.000 y CLP 800.000 mensuales para operadores con licencia clase D; para simplificar costos previsionales y del empleador, el modelo adoptó un costo empresa redondeado de CLP 1.000.000 mensuales por trabajador (Dirección del Trabajo, s. f.; Adecco Chile, s. f.; Grupo Expro, 2026).

3.1. Supuestos de simulación

La Tabla 1 reúne los supuestos principales empleados en la comparación. Se eligieron valores conservadores para que la ventaja de la automatización no dependiera de asignar una velocidad de trabajo superior al sistema autónomo.

Tabla 1. Supuestos del caso de estudio y de la simulación

Variable	Sector manual	Sector autónomo	Criterio
Número de equipos	4	4	Misma cantidad para comparación directa
Operación programada	24 h/día	24 h/día	Bodega de distribución continua
Periodo	92 días	92 días	Mayo-julio de 2026
Ventana de peak	7 días	7 días	Incluye CyberDay y cola logística
Movimientos nominales	16 pallets/h	16 pallets/h	Supuesto común del modelo
Disponibilidad efectiva	82%	92%	Supuesto: pausas/turnos vs. carga y mantenimiento
Demanda normal	1.000 movimientos/día	1.000 movimientos/día	Supuesto de operación regular
Demanda peak	1.400 movimientos/día	1.400 movimientos/día	Escenario cercano al máximo de la flota autónoma
Costo empresa por operador	CLP 1.000.000/mes	No aplica como conductor	Supuesto redondeado apoyado en referencias locales

3.2. Uso de IA

Se utilizó ChatGPT, modelo GPT-5.6 Sol, para investigación de fuentes externas, análisis formal, cálculos comparativos, elaboración de tablas, redacción del borrador y revisión editorial. La conceptualización se mantuvo bajo responsabilidad del autor: Andres Atala Rosas propuso estudiar montacargas autónomos a partir de una observación personal, definió Temuco como ubicación, estableció la comparación entre cuatro equipos autónomos y cuatro operados por personas, fijó operación 24/7, un horizonte de tres meses y la inclusión de un periodo CyberDay de máxima exigencia. La metodología también fue definida y ajustada con participación del autor mediante esas decisiones de diseño.

La IA evaluó que su contribución fue alta en Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición y Visualización, mientras que los roles centrales de Conceptualización, Metodología y Validación se reservaron al autor. Revisión y edición se consideró un rol compartido. La validación final corresponde a Andres Atala Rosas, quien asume la responsabilidad de comprobar que los supuestos, fuentes, cálculos y conclusiones de la versión entregada representan correctamente el trabajo realizado.

4. Resultados

4.1. Tecnología seleccionada y funcionamiento

La solución seleccionada fue una grúa horquilla autónoma contrabalanceada para traslado de pallets en piso y estaciones de carga. Como referencia técnica se utilizaron equipos comerciales de la clase AGILOX OCF y Toyota CB18. El OCF declara capacidad de hasta 1.500 kg, velocidad máxima de 1,4 m/s y carga rápida equivalente a 3 minutos de carga por una hora de funcionamiento. El CB18 declara hasta 4.000 lb de capacidad, batería de ion-litio y navegación LiDAR con campo de visión de 360 grados (AGILOX, s.f.; Toyota Material Handling, s.f.).

El funcionamiento puede interpretarse como un sistema de control de lazo cerrado: una misión de transporte actúa como referencia; los sensores miden posición, obstáculos y estado del vehículo; el sistema de navegación compara la situación actual con el mapa y la ruta objetivo; y los actuadores corrigen velocidad, dirección y elevación. El vehículo vuelve a medir su entorno de forma continua. Este comportamiento amplía los fundamentos de lazo abierto y lazo cerrado revisados en la cátedra de Semana 02 (Alarcón, 2026b).

La autonomía no depende únicamente de inteligencia artificial. La seguridad y el control combinan sensores, reglas determinísticas, planificación de trayectoria, mapas y software de flota. En este contexto, el término IA se utiliza en sentido amplio para funciones de percepción, asignación de tareas y optimización; no se asume que los vehículos utilicen inteligencia artificial generativa. La Tabla 2 resume las características relevantes para el caso.

Tabla 2. Características de una solución autónoma representativa

Elemento	Referencia técnica	Aplicación al caso
Carga útil	AGILOX OCF: hasta 1.500 kg	Traslado de pallets de distribución
Navegación	Toyota CB18: LiDAR y mapa de características naturales	Localización y seguimiento de rutas sin guía física extensa
Seguridad	Sensores de detección de obstáculos; certificaciones específicas según fabricante	Reducción de velocidad o detención ante obstáculos
Carga de batería	AGILOX OCF: 3 min de carga por 1 h de funcionamiento	Facilita carga de oportunidad y alta disponibilidad
Gestión de flota	Asignación dinámica de tareas en soluciones comerciales	Coordina las 4 unidades y evita duplicación de misiones
Iluminación	LiDAR funciona en distintas condiciones de luz	Permite reducir dependencia de iluminación visible, sujeto a seguridad del sitio

4.2. Estimación de costos y cantidad de sistemas

La pauta exige estimar el costo de una solución representativa y la cantidad necesaria para modernizar una sección de planta. El caso consideró cuatro unidades autónomas, una por cada grúa horquilla del sector de comparación. Los fabricantes de referencia trabajan principalmente mediante cotización, por lo que el costo se estimó con una fuente especializada de mercado que sitúa un montacargas autónomo contrabalanceado entre US\$ 85.000 y US\$ 120.000, dependiendo de carga, altura, batería, navegación y seguridad (Pastor Tella, s. f.). Para el escenario central se utilizó US\$ 105.000 por unidad y se añadió 20% para integración, software, cargadores, puesta en marcha, capacitación y adecuaciones menores. No se incluyeron IVA, aranceles, flete internacional extraordinario ni obras civiles mayores.

La Tabla 3 presenta el cálculo central y un rango de sensibilidad. Para la conversión se utilizó CLP 918,42 por US\$.

Tabla 3. Estimación de inversión para cuatro montacargas autónomos

Concepto	Escenario bajo	Escenario central	Escenario alto
Precio unitario estimado	US\$ 85.000	US\$ 105.000	US\$ 120.000
4 unidades	US\$ 340.000	US\$ 420.000	US\$ 480.000
Integración y puesta en marcha (20%)	US\$ 68.000	US\$ 84.000	US\$ 96.000
Total instalado	US\$ 408.000	US\$ 504.000	US\$ 576.000
Total en CLP	CLP 374.715.360	CLP 462.883.680	CLP 529.009.920

Para el sector manual, la infraestructura de cuatro grúas horquilla se trató como existente y, por tanto, su compra no se cargó al trimestre. La cobertura 24/7 exige al menos 16 equivalentes de jornada completa (672/42) y se modelaron 18 operadores para permitir relevo. El costo laboral trimestral resultó en CLP 54 millones. Se añadieron CLP 6 millones como supuesto de energía y mantenimiento del conjunto manual (CLP 500.000 por equipo al mes). En el sector autónomo se supuso un costo recurrente trimestral equivalente al 2,5% de la inversión instalada, es decir, CLP 11,57 millones, para mantenimiento, software, soporte y energía.

Bajo estos supuestos, el sector manual costó CLP 60,0 millones durante los tres meses, mientras que el sector autónomo requirió CLP 474,46 millones durante el primer trimestre al incluir la inversión inicial. Una vez instalado, el gasto recurrente autónomo sería muy inferior al costo laboral del sector manual. La diferencia operacional trimestral estimada fue de CLP 48,43 millones a favor de la automatización. Si esa diferencia se mantuviera estable y se ignoraran impuestos, costo financiero y reposiciones mayores, el periodo simple de recuperación de la inversión sería cercano a 2,4 años. Este orden de magnitud es coherente con análisis de industria que muestran una ventaja económica mayor para AGV cuando la operación se extiende a tres turnos o 24/7 (BlueBotics, 2022).

4.3. Comparación operativa durante tres meses y CyberDay

Para comparar productividad se mantuvo la misma velocidad nominal de 16 movimientos de pallet por hora en ambos sectores. La diferencia provino exclusivamente de la disponibilidad efectiva supuesta: 82% para el sistema manual y 92% para el autónomo. Esta decisión evita atribuir al robot una superioridad de velocidad no demostrada. Con 4 equipos, 24 horas y 92 días, ambas flotas disponen de 8.832 horas-calendario de equipo. La disponibilidad aplicada genera 7.242 horas productivas en el sector manual y 8.125 horas en el autónomo.

La Tabla 4 resume el resultado de la simulación de capacidad y cumplimiento de demanda. En la ventana de siete días de peak se utilizó una demanda de 1.400 movimientos diarios por sector, valor que deja a la alternativa autónoma prácticamente en su límite modelado.

Tabla 4. Comparación de capacidad y servicio en el periodo mayo-julio de 2026

Indicador	4 manuales	4 autónomos	Diferencia
Disponibilidad efectiva asumida	82%	92%	+10 puntos porcentuales
Horas productivas de flota en 92 días	7.242 h	8.125 h	+883 h
Capacidad diaria modelada	1.260 mov./día	1.413 mov./día	+153 mov./día
Capacidad potencial en 92 días	115.876 mov.	130.007 mov.	+14.131 (+12,2%)
Demanda total simulada	94.800 mov.	94.800 mov.	Igual
Movimientos atendidos	93.817	94.800	+983
Backlog al final del peak	983 mov.	0 mov.	-983
Nivel de servicio trimestral	98,96%	100,00%	+1,04 pp

En días normales, ambos sectores pudieron atender los 1.000 movimientos diarios supuestos. La diferencia apareció durante el peak: la capacidad manual modelada fue de aproximadamente 1.260 movimientos diarios, por debajo de los 1.400 requeridos, acumulando cerca de 983 movimientos pendientes durante siete días. La flota autónoma alcanzó aproximadamente 1.413 movimientos diarios, con un margen reducido de 13 movimientos por día. Por tanto, el resultado no muestra una capacidad ilimitada: cuatro unidades autónomas también quedarían casi saturadas durante un peak de esta magnitud.

4.4. Ventajas, limitaciones y riesgos

Los resultados cuantitativos se complementaron con riesgos técnicos y organizacionales. La Tabla 5 presenta los principales efectos esperados y sus contrapartidas.

Tabla 5. Ventajas y riesgos de la modernización

Aspecto	Ventaja esperada	Limitación o riesgo
Continuidad	Menor dependencia de pausas, cambios de turno y disponibilidad de conductores	Requiere carga, mantenimiento, recuperación ante fallas y soporte técnico
Productividad	Mayor disponibilidad y regularidad del flujo de pallets	Solo aumenta producción si el transporte interno era un cuello de botella
Seguridad	Sensores y campos de seguridad pueden detener el equipo ante obstáculos	Una mala configuración, sensor degradado o circulación mixta introduce riesgos
Iluminación	LiDAR puede operar sin depender de luz visible	No toda la bodega puede quedar a oscuras si circulan personas o se usan cámaras convencionales
Costos	Disminuye el costo recurrente asociado a conductores en operación 24/7	La inversión inicial es elevada y el retorno depende del uso intensivo
Ciberseguridad	Integración digital permite trazabilidad y monitoreo	Mayor superficie de ataque al conectar robots, WMS, redes y acceso remoto
Organización	Libera trabajadores de tareas repetitivas y permite reasignación	Requiere capacitación, gestión del cambio y nuevos perfiles técnicos

El riesgo de ciberseguridad es relevante porque una flota autónoma forma parte de la tecnología operacional de la empresa. NIST advierte que la conexión entre sistemas industriales y redes de información puede aumentar productividad, pero también expone la operación a ataques capaces de afectar integridad, seguridad y continuidad. Para el caso analizado se requerirían segmentación de red, autenticación y autorización, registro de eventos, control de cambios, respaldo de configuraciones y procedimientos de operación degradada o manual (Powell et al., 2022).

4.5. Modelo de negocio para una startup integradora

Para responder al rol de gerente solicitado en la actividad se propuso una pequeña startup de integración, no de fabricación. Esta decisión reduce la barrera tecnológica: la empresa compraría montacargas y componentes certificados a fabricantes especializados y concentraría su capacidad en diagnóstico de procesos, integración con WMS/ERP, mapeo, puesta en marcha, soporte y medición de resultados. La Tabla 6 sintetiza el modelo propuesto.

Tabla 6. Modelo de negocio propuesto para una startup integradora en el sur de Chile

Componente	Propuesta
Proveedores	Fabricantes de AGF/AMR; distribuidores de baterías y cargadores; integradores de red industrial; proveedores de ciberseguridad y repuestos.
Clientes objetivo	Centros de distribución, e-commerce, paquetería, retail, alimentos y bebidas, manufactura y operadores logísticos con operación de dos o tres turnos.
Propuesta de valor	Reducir dependencia de dotación en transporte repetitivo, aumentar disponibilidad, medir trazabilidad y entregar soporte local en Temuco y macrozona sur.
Venta llave en mano	Proyecto de 4 unidades cercano a CLP 520 millones como precio indicativo, sujeto a ingeniería y cotización real.
Robotics-as-a-Service	Alternativa referencial desde CLP 16 millones/mes por flota de 4 equipos, contrato mínimo de 48 meses, más diagnóstico e implementación inicial.
Entrada comercial	Piloto de 1 unidad en una ruta repetitiva durante 60 días, con KPI de disponibilidad, movimientos/hora, detenciones, seguridad y costo por movimiento.
Estrategia de acercamiento	Venta consultiva a jefaturas de logística y operaciones; demostraciones en sitio; alianza con proveedores; casos de negocio con ROI antes de escalar.
Diferenciación	Soporte regional, integración con sistemas existentes, ciberseguridad por diseño y servicio de mejora continua después de la instalación.

La modalidad de servicio mensual busca disminuir la barrera de entrada que genera el CAPEX. El precio propuesto es únicamente un modelo financiero del informe y no una cotización comercial. Para que el negocio sea viable, la startup debería asegurar financiamiento de activos, contratos de largo plazo, mantenimiento preventivo y acuerdos de nivel de servicio con el fabricante.

5. Discusión

El caso estudiado muestra que la afirmación inicial de que un montacargas autónomo puede mejorar la producción por trabajar 24/7 necesita una precisión. Una flota conducida por personas también puede operar las 24 horas si existe suficiente dotación. La ventaja potencial del sistema autónomo aparece en una mayor disponibilidad efectiva, menor variabilidad entre turnos y menor dependencia de cubrir horas con distintos operadores. En este informe, esa diferencia produjo 12,2% más capacidad potencial, pero no implicó automáticamente 12,2% más ventas ni producción.

La mejora real depende de la existencia de un cuello de botella logístico. Si la recepción, el picking, las cintas transportadoras o el despacho tienen menor capacidad que los montacargas, automatizar solo el movimiento de pallets no aumentará la salida total de la bodega. En cambio, durante un peak como CyberDay, cuando el transporte interno sí se aproxima a su límite, la disponibilidad adicional puede impedir acumulación de pallets y retrasos. El resultado de 983 movimientos pendientes del sector manual es una consecuencia de los supuestos definidos y debe interpretarse como una prueba de estrés, no como una predicción para una empresa real.

La operación con baja iluminación constituye una ventaja técnica interesante, pero debe tratarse con cautela. Un LiDAR no necesita iluminación visible para medir distancias, por lo que ciertas zonas totalmente automatizadas podrían reducir su dependencia de luz

ambiental. No obstante, en una bodega mixta existen inspecciones, mantenciones, emergencias y trabajadores que requieren condiciones seguras. Por ello no se incorporó ahorro de iluminación al cálculo económico. Una implementación real debería evaluar cada zona y mantener la iluminación que exijan seguridad, normativa y otros sensores.

La comparación económica también favorece una lectura de largo plazo. En el primer trimestre, la automatización es claramente más cara porque concentra una inversión aproximada de CLP 462,9 millones. El beneficio financiero aparece cuando esa inversión se distribuye durante varios años y sustituye costos recurrentes de una operación de tres turnos. Esto coincide con el ejemplo de BlueBotics, donde el retorno de AGV es más favorable a medida que aumenta la utilización diaria. Por lo tanto, una empresa pequeña con operación de un solo turno probablemente tendría una justificación más débil que un centro masivo con funcionamiento continuo.

En términos organizacionales, el caso tampoco debe reducirse a reemplazar personas. La automatización elimina principalmente la necesidad de conducción repetitiva, pero crea demanda de supervisión, mantenimiento electromecánico, redes, integración de software, seguridad funcional y ciberseguridad. La decisión empresarial debería considerar reasignación y capacitación del personal, además del costo financiero. Una estrategia de implementación gradual con un piloto permitiría comparar desempeño real antes de invertir en cuatro unidades.

Las principales limitaciones del informe son la ausencia de datos operacionales de una bodega real de Temuco, la falta de cotizaciones formales de fabricantes, el uso de supuestos de disponibilidad y productividad, y la exclusión de IVA, importación, depreciación, costo de capital, seguros y obras civiles mayores. Asimismo, la ventana de siete días de peak es una simplificación: el CyberDay real duró tres días y el efecto logístico posterior dependería de la red de distribución de cada empresa.

Respecto del uso de IA en la elaboración, su mayor aporte fue acelerar investigación, cálculo y redacción. Sin embargo, el caso de estudio, la localización, el número de equipos, el periodo de tres meses y la decisión de incluir un escenario CyberDay surgieron de la conceptualización humana. Esta separación es relevante porque demuestra que la IA puede ampliar una idea sin reemplazar necesariamente la decisión sobre qué problema estudiar, coherente con la metodología planteada en el curso (Alarcón, 2026a; Alarcón, 2026b).

6. Conclusiones

El objetivo del informe fue analizar la viabilidad técnico-económica de automatizar el transporte interno de una bodega de distribución masiva en Temuco mediante cuatro montacargas autónomos y compararlos con cuatro grúas horquilla convencionales operadas 24/7. Bajo los supuestos definidos, la solución autónoma requiere una inversión central estimada de US\$ 504.000 instalados, equivalentes a aproximadamente CLP 462,9 millones al tipo de cambio utilizado.

La simulación mostró que la principal ventaja no proviene de una mayor velocidad nominal, sino de una disponibilidad efectiva superior. Manteniendo 16 movimientos por hora en ambos sistemas, la flota autónoma alcanzó una capacidad potencial 12,2% mayor en tres meses. Durante el escenario de peak asociado al CyberDay, esa diferencia permitió atender

la demanda modelada sin backlog, mientras el sistema manual acumuló cerca de 983 movimientos pendientes.

En el horizonte de solo tres meses, mantener la flota manual existente fue económicamente más barato porque la automatización concentra una inversión inicial elevada. Sin embargo, al comparar costos recurrentes de una operación 24/7, la menor dependencia de dotación permite estimar un periodo simple de recuperación cercano a 2,4 años. Por ello, la tecnología resulta más justificable en instalaciones con uso intensivo, procesos repetitivos y demanda sostenida.

La automatización también introduce nuevos riesgos: dependencia de software y sensores, ciberseguridad, mantenimiento especializado, integración con sistemas de gestión y necesidad de planes de contingencia. En consecuencia, la modernización no debería consistir únicamente en comprar vehículos, sino en diseñar un sistema completo de operación, seguridad y soporte. Para una startup local, el enfoque más viable sería actuar como integrador y ofrecer pilotos, proyectos llave en mano o un servicio mensual que reduzca la barrera de inversión del cliente.

7. Declaraciones

7.1. Declaración de contribuciones

Andres Atala Rosas (Humano): Conceptualización, Metodología, Validación y Revisión y edición.

GPT-5.6 Sol (IA): Investigación, Análisis formal, Redacción del borrador original, Revisión y edición y Visualización.

Evaluación de la distribución de contribuciones por la IA: la contribución humana fue determinante para definir el problema, el caso de Temuco, la comparación 4 versus 4, la operación 24/7, el horizonte de tres meses y el escenario CyberDay. La IA concentró su contribución en localizar antecedentes, formalizar supuestos, realizar cálculos, organizar resultados, redactar y editar el documento. La validación de la versión entregada permanece bajo responsabilidad del autor.

7.2. Autorizaciones finales

Publicación con identidad real: Autorizo la publicación del presente informe utilizando mi nombre y apellido.

Modificación por coautores: Autorizo modificaciones posteriores realizadas por coautores después de una revisión editorial.

Publicación web: Autorizo la publicación del presente informe en sitios web destinados a informes académicos.

Licencia: Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) - <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> - versión actualizada 2026-09-22.

Bibliografía

- Adecco Chile. (s. f.). Operador grúa horquilla Temuco [Oferta laboral]. Computrabajo Chile. <https://cl.computrabajo.com/ofertas-de-trabajo/oferta-de-trabajo-de-operador-grua-horquilla-temuco-en-temuco-BBADACDB5E53E08A61373E686DCF3405>
- AGILOX. (s. f.). AGILOX OCF: Carretilla elevadora autónoma contrabalanceada. <https://www.agilox.net/es/producto/agilox-ocf/>
- Alarcón, C. (2026a, 25 de agosto). Clase Semana 02 laboratorio: Requerimientos Informe Semana 02 [Transcripción de clase]. Curso de Automatización, Universidad de La Frontera.
- Alarcón, C. (2026b, 26 de agosto). Clase Semana 02 cátedra: Revisión de taller y requerimientos del informe [Transcripción de clase]. Curso de Automatización, Universidad de La Frontera.
- Alarcón, C. (2026c). Automatización de Procesos Productivos: Semana 02 [Presentación de clase]. Universidad de La Frontera.
- Alarcón, C. (2026d). Generative Science as an analytical framework for integrating the full capabilities of generative artificial intelligence into scientific research while preserving scientific recognition. Generative Science Preprints, 2026(07), 19055673. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19055673>
- Banco Central de Chile. (2026). Dólar observado diario: 27 de agosto de 2026, CLP 918,42 por US\$. Base de Datos Estadísticos. <https://si3.bcentral.cl/>
- BlueBotics. (2022). Unlock efficiency, flexibility and cost savings with AGVs driven by natural feature navigation [eBook]. <https://bluebotics.com/ebook/>
- Cámara de Comercio de Santiago. (2026, 4 de junio). CyberDay 2026 cerró con más de 5 millones de transacciones y US\$ 531 millones en ventas. <https://www.ccs.cl/ecommerce/cyberday-2026-us531-millones-ventas/>
- Dirección del Trabajo. (s. f.). ¿Desde cuándo rige la rebaja de 44 a 42 horas? <https://www.dt.gob.cl/portal/1626/w3-article-129225.html>
- Grupo Expro. (2026, 29 de marzo). Operador de Grúa Horquilla Multifuncional - Temuco, Por Periodo de reemplazo [Oferta laboral]. MiGuru. <https://miguru.ai/offers/ldkwc69docuxlwxcwxx8>
- Ouster. (s. f.). OS2 lidar sensor: Frequently asked questions. <https://ouster.com/products/hardware/os2-lidar-sensor>
- Pastor Tella, A. (s. f.). Invest or Not? Decoding AGV Forklift Price. AGV Network. <https://www.agvnetwork.com/autonomous-forklift-costs>
- Powell, M., Pease, M., Stouffer, K. A., Tang, C., Zimmerman, T., Dean, C., Zheng, K., Hoyt, J., Raguso, M., Brule, J., Sherule, A., & Zopf, M. (2022). Protecting Information and System Integrity in Industrial Control System Environments: Cybersecurity for the Manufacturing Sector (NIST SP 1800-10). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1800-10>
- Toyota Material Handling. (s. f.). CB18 Automated Guided Forklift. <https://www.toyotaforklift.com/lifts/automated-guided-vehicles/cb18-automated-guided-forklift>