

Tendencia T05

Sistemas parcialmente autónomos (toma de decisiones automatizada)

Código	T05
Categoría	Tecnológica
Criterio C2 – Riesgo de desplazamiento ocupacional	4 – Alto: a medida que maduran, estos sistemas eliminan o reducen drásticamente puestos operativos rutinarios de decisión en compras, logística, producción, mantenimiento, calidad y RRHH. El desplazamiento afecta a varios perfiles con reconversión profunda o reemplazo de funciones operativas.
Procesos transversales afectados	Compras y abastecimiento, Logística, Gestión de la producción y planificación, Producción, Mantenimiento industrial, Control de calidad y Gestión de personas y SSO
Nivel de madurez	2-3 – Opera en entornos múltiples con alcance sectorial medio: transición activa desde pilotos hacia despliegues en producción; brecha significativa entre vanguardia y adopción generalizada. Aún incipiente en Uruguay,

Definición operativa

Los sistemas parcialmente autónomos de toma de decisiones son plataformas de inteligencia artificial —integradas en los sistemas de gestión de las empresas manufactureras— capaces de ejecutar decisiones operativas rutinarias dentro de parámetros predefinidos, sin requerir aprobación humana caso a caso. Se distinguen de los sistemas de recomendación o soporte a la decisión (que proponen opciones para que un humano decida) por su capacidad de actuar: generar órdenes, ajustar parámetros, reasignar recursos, escalar alertas o iniciar flujos de trabajo de forma autónoma.

La tendencia se articula en tres capas tecnológicas diferenciadas que conviven y se superponen en la práctica industrial:

- IA predictiva y prescriptiva integrada en sistemas de gestión (ERP/MES/WMS): algoritmos de machine learning que, alimentados por datos operativos en tiempo real, generan recomendaciones con alta probabilidad de aprobación automática para decisiones acotadas: reposición de inventarios, ajuste de programas de producción,

generación de órdenes de mantenimiento preventivo. En su versión 'prescriptiva', el sistema no solo predice qué pasará sino que prescribe la acción óptima y puede ejecutarla.

- Copilots industriales (IA generativa aplicada a operaciones): asistentes de IA generativa integrados en los sistemas operativos de planta —Microsoft Copilot for Manufacturing, SAP Joule, Siemens Industrial Copilot— que responden consultas en lenguaje natural, generan documentación y propuestas de acción, y pueden ejecutar tareas específicas dentro de los sistemas de gestión. Mercado creciendo 150% interanual (USD 5 mil millones en 2024 a USD 13 mil millones en 2025) [1].
- IA agéntica (agentic AI): agentes de IA que responden a consultas y persiguen objetivos definidos de forma autónoma, orquestando múltiples decisiones y sistemas en secuencia. En manufactura: agentes que detectan un fallo de proveedor, evalúan alternativas, colocan órdenes y notifican al planificador, todo dentro de un período de cuatro horas sin intervención humana. Es el segmento de mayor crecimiento proyectado y mayor impacto potencial, pero también el de menor madurez actual [2][3].

Taxonomía de autonomía decisional: cuatro niveles de escalonamiento

La autonomía en la toma de decisiones no es binaria. Los sistemas actuales operan en un continuo de cuatro niveles, y la posición en ese continuo define tanto el valor generado como el riesgo asumido:

Nivel 1 – Soporte: el sistema presenta datos e informes; la decisión es enteramente humana. (Ej.: dashboard de alertas de mantenimiento.)

Nivel 2 – Recomendación: el sistema propone una acción con justificación; el humano aprueba o rechaza. (Ej.: MES sugiere reprogramar el lote X.)

Nivel 3 – Autonomía acotada: el sistema ejecuta decisiones rutinarias dentro de parámetros pre aprobados; el humano supervisa excepciones. (Ej.: reposición automática de insumos C-items.)

Nivel 4 – Autonomía amplia: el sistema persigue objetivos complejos coordinando múltiples decisiones y sistemas; el humano define el objetivo y supervisa resultados. (Ej.: agente de supply chain que gestiona disrupciones end-to-end.)

La manufactura actual opera mayoritariamente en niveles 2-3 para decisiones operativas de baja criticidad. La transición al nivel 4 —la IA agéntica— está en curso en organizaciones de vanguardia pero enfrenta barreras de integración, gobernanza y confianza.

Nivel de madurez

La tendencia se ubica en madurez nivel 3 con fuerte asimetría interna: la IA predictiva integrada en ERP/MES ha alcanzado madurez 4 en organizaciones grandes, mientras que la IA agéntica se encuentra en transición activa desde pilotos hacia producción (madurez 2-3). Los indicadores que fundamentan la calificación global son:

- Customer Times Research identifica un punto de inflexión para la IA en manufactura en el 2024, con la convergencia de IA predictiva madura, IA generativa en producción e IA agéntica en proyectos piloto, que hoy están transitando hacia despliegues a escala de producción que entregan mejoras del 15-40% en precisión de pronóstico, 20-50% de reducción en tiempo de inactividad no planificado y 98-99% de precisión en detección de defectos [1].
- Proyección Gartner 2028: el 33% de las aplicaciones de software empresarial incluirá IA agéntica para 2028 (frente a menos del 1% en 2024), habilitando que el 15% de las decisiones de trabajo cotidianas sea tomado de forma autónoma. Paralelamente, Gartner advierte que más del 40% de los proyectos de IA agéntica serán cancelados para finales de 2027 por costos crecientes, valor de negocio poco claro o controles de riesgo inadecuados [3].
- Brecha entre adopción y despliegue en producción: Deloitte (2025) documenta que mientras el 30% de las organizaciones explora IA agéntica y el 38% está en fase piloto, solo el 14% tiene soluciones listas para producción y apenas el 11% las usa activamente en producción. El 42% aún está desarrollando su hoja de ruta de IA agéntica [4].
- Adopción masiva de IA general: el 88% de las organizaciones reporta uso regular de IA en al menos una función de negocio (McKinsey State of AI 2025). La IA para manufactura es un mercado valorado en USD 5,32 mil millones en 2024, proyectado en USD 47,88 mil millones para 2030, con CAGR del 46,5% [5].
- McKinsey (2025): el 23% de las empresas ya escala agentes de IA. Las organizaciones que implementan automatización agéntica reportan reducciones de costos operativos del 20-40% [6].

En el Anexo A4.5 se presentan las evidencias empíricas a nivel internacional que justifican el nivel de madurez asignado, incluyendo casos industriales demostrativos.

Factores impulsores

Presiones operativas y de eficiencia

- Velocidad y volumen de decisiones operativas: las operaciones manufactureras modernas generan millones de micro-decisiones diarias (niveles de inventario, programación de órdenes, ajustes de parámetros de proceso, asignación de mantenimiento) que superan la capacidad humana de procesamiento oportuno. Los

sistemas autónomos permiten tomar estas decisiones a la velocidad del dato, no a la velocidad del ciclo de reunión.

- Escasez de talento técnico para análisis operativo: la misma escasez de mano de obra calificada que impulsa la robotización física, impulsa también la automatización de decisiones. La IA como 'multiplicador de fuerza' permite que un planificador o analista gestione sistemas de mayor complejidad sin incremento proporcional de plantilla.
- Competitividad basada en tiempo de respuesta: en sectores de alta variabilidad de demanda o cadenas de suministro globalmente expuestas, la capacidad de ajustar producción, abastecimiento y logística en horas en lugar de días es un diferencial competitivo directo. Las cadenas de suministro autocurativas que resuelven disrupciones en cuatro horas frente a los 1-3 días del ciclo manual representan una ventaja cuantificable.

Habilitadores tecnológicos

- Madurez de modelos de IA de base: la disponibilidad de modelos de lenguaje de gran escala (LLMs) y modelos de visión con capacidad de seguir instrucciones complejas, integrados con APIs empresariales confiables, resuelve el principal cuello de botella técnico previo: la incapacidad de los agentes de interactuar con múltiples sistemas heterogéneos.
- Integración IT/OT y datos en tiempo real: la convergencia de sistemas de tecnología de la información (ERP, CRM, MES) con tecnología operacional (PLCs, SCADA, sensores IIoT) provee el flujo de datos en tiempo real que los sistemas autónomos requieren para tomar decisiones informadas. Sin esta infraestructura de datos, los agentes carecen del contexto necesario para actuar con seguridad.
- Ecosistemas de software empresarial con IA embebida: los principales proveedores de software empresarial —SAP, Siemens, Microsoft, Oracle, Blue Yonder— han integrado capacidades de IA agéntica en sus plataformas existentes, reduciendo la fricción de adopción. Las empresas no necesitan construir sistemas autónomos desde cero: los activan como extensiones de sus plataformas ya instaladas [11][12].

Regulatorios y de gobernanza

- EU AI Act (Reglamento UE 2024/1689): el marco regulatorio de IA de la Unión Europea introduce requisitos de transparencia, explicabilidad y supervisión humana para sistemas de IA de 'alto riesgo', definiendo la arquitectura de gobernanza que los sistemas autónomos deben cumplir. Aunque crea fricción regulatoria, también da certidumbre jurídica al delimitar qué decisiones pueden ser plenamente autónomas y cuáles requieren validación humana.
- Confianza como barrera de adopción acelerada: el WEF (junio 2025) identifica la confianza como la principal barrera para la adopción de agentes de IA: “muchos equipos dudan en confiar en sistemas autónomos sin evidencia clara de sus capacidades y limitaciones”. La construcción gradual de confianza mediante pilotos controlados y modelos Human-in-the-Loop (HITL) es el camino dominante de adopción responsable [15].

Análisis prospectivo

Escenario de corto plazo (0–2 años)

El período inmediato estará dominado por la expansión de los copilotos industriales —asistentes de IA generativa que apoyan y aceleran decisiones humanas sin reemplazarlas— y la consolidación de la IA autónoma acotada en funciones de baja criticidad: reposición de insumos de bajo valor, generación automática de alertas y órdenes de trabajo preventivo, y ajuste de parámetros de proceso dentro de rangos predefinidos. El desafío central de este período es la integración con sistemas preexistentes: Gartner advierte que más del 40% de los proyectos de IA agéntica en curso serán cancelados para 2027 por incapacidad de los sistemas heredados de soportar las demandas de ejecución de la IA moderna [3].

El impacto sobre el empleo en este período es principalmente de enriquecimiento de tareas —los copilotos reducen la carga cognitiva de trabajo rutinario sin eliminar los puestos— pero con una compresión real del tiempo dedicado a tareas de análisis y coordinación que comienza a afectar la demanda relativa de ciertas posiciones de nivel medio.

Escenario de mediano plazo (3-5 años)

En el mediano plazo, la convergencia de agentes de IA maduros, integración IT/OT robusta y gemelos digitales en tiempo real, configurará el paradigma de la “operación autónoma por capas”: las decisiones de rutina (70-80% del volumen de decisiones operativas) serán gestionadas por sistemas autónomos, mientras que los trabajadores humanos se concentrarán en gestión de excepciones, definición de parámetros, supervisión de calidad de las decisiones automáticas y manejo de situaciones inéditas que exceden los modelos entrenados.

Gartner proyecta que el negocio autónomo será creador neto de empleos para 2028-2029, porque aumenta la capacidad de producir valor con menos esfuerzo rutinario, pero el tipo de trabajo cambia radicalmente: de ejecutor de procesos a supervisor y gobernador de agentes. Este cambio requiere una reconversión profunda.

Tensión central: la paradoja de la reducción de plantilla sin ROI

El hallazgo más relevante de la encuesta de Gartner sobre negocio autónomo (mayo 2026) es contraintuitivo: el 80% de las organizaciones que han implementado tecnologías autónomas reporta reducciones de plantilla, pero esas reducciones no se traducen en mejoras de ROI. **Las organizaciones que reducen personas sin rediseñar procesos y sin amplificar las capacidades del personal remanente no capturan el valor de la automatización.** La conclusión operativa es que la autonomía decisional solo crea valor cuando se combina con inversión en las capacidades humanas que la hacen funcionar: supervisión, gobernanza, gestión de excepciones y mejora continua del sistema [8].

Impacto sobre los procesos transversales de la industria manufacturera

Esta tendencia tiene la mayor dispersión de impacto de todas las analizadas: afecta a siete de los nueve procesos transversales, aunque con intensidad diferente según el tipo y volumen de decisiones rutinarias que cada proceso contiene.

Tabla 1. Impacto actual y proyectado de la tendencia T05 sobre procesos críticos

Proceso transversal	Impacto actual	Impacto proyectado	Descripción del impacto
Compras y abastecimiento	Medio	Alto	Actualmente: la IA autónoma gestiona reposición de insumos tipo C (bajo valor y alta rotación) y monitoreo de riesgo de proveedores. A futuro: agentes que detectan interrupciones de proveedor, evalúan alternativas y colocan órdenes en horas; evaluación automatizada de cotizaciones para categorías de bajo riesgo; due diligence inicial de proveedores por agentes de IA. Los perfiles de compras se concentrarán en negociaciones estratégicas, gestión de relaciones y definición de parámetros para agentes.
Logística de entrada	Medio	Alto	Los sistemas agénticos gestionan la reposición autónoma de insumos. Los sistemas SAP EWM con IA optimizan la asignación de ubicaciones de almacén en tiempo real y la alineación de mano de obra con la carga de trabajo de recepción. A futuro los agentes de IA coordinarán de forma autónoma el ciclo completo de entrada: desde la señal de reposición hasta la ubicación del insumo en el almacén y la instrucción de abastecimiento a la línea, incluyendo la gestión de excepciones ante recepciones con incidencias. El coordinador de logística se convierte en gestor de excepciones.
Logística de salida	Alto	Alto	La intralogística de salida concentra el mayor volumen de decisiones rutinarias automatizables: secuenciación de órdenes de picking, asignación de ubicaciones de almacén de PT, optimización de rutas de picking, asignación de muelles de despacho, consolidación de pedidos. Los sistemas de gestión de almacenes (WMS) con IA ya ejecutan muchas de estas decisiones, pero aún con frecuente validación humana. A futuro los sistemas agénticos de salida operarán con autonomía completa sobre las decisiones de rutina: la preparación de un pedido estándar será ejecutada de extremo a extremo sin intervención humana. El impacto sobre los perfiles de preparación y coordinación de salida será el mayor de todos los procesos logísticos.

Proceso transversal	Impacto actual	Impacto proyectado	Descripción del impacto
Gestión de la producción y planificación	Alto	Alto	Es el proceso con mayor adopción actual de decisión autónoma. Los sistemas MES con IA agéntica reprograman órdenes de producción ante cambios de demanda, fallas de máquina o faltantes de materiales. A futuro: la planificación de producción operará como gestión de excepciones: el planificador define el objetivo y los parámetros; el sistema ejecuta y alerta. El rol evoluciona hacia arquitecto de reglas de decisión y validador de resultados del sistema.
Producción	Medio	Alto	Actualmente: sistemas de control de proceso auto-ajustables que optimizan parámetros de producción (temperatura, velocidad, presión) en tiempo real. A futuro: el 'Shopfloor Supervisor Agent' de SAP gestiona proactivamente disrupciones de planta —fallas de equipo, escasez de materiales— ejecutando el reprogramado necesario sin esperar aprobación humana. Los operarios de producción asumen roles de supervisión y validación de decisiones del sistema.
Mantenimiento industrial	Medio	Alto	Los sistemas agénticos de mantenimiento evolucionan de predecir fallas a prescribir y ejecutar acciones, diagnosticando, generando la orden de trabajo, verificando la disponibilidad de repuestos, reservando el horario del técnico y, en casos de baja criticidad, ejecutando los pasos correctivos automatizados disponibles. Los técnicos se concentran en diagnóstico de alta complejidad y trabajo que requiere presencia física.
Control de calidad	Medio	Medio	La IA agéntica en control de calidad identifica patrones en defectos, determina causas raíz y ajusta automáticamente parámetros del proceso de manufactura upstream para prevenir recurrencias. Fabricantes automotrices reportan reducciones del 95% en tasas de defecto con sistemas agénticos. Los inspectores humanos se reconvierten en validadores de sistema y gestores de situaciones fuera de los modelos entrenados.

Proceso transversal	Impacto actual	Impacto proyectado	Descripción del impacto
Gestión de personas y SSO	Bajo	Medio	Actualmente: IA para cribado de candidatos, programación de turnos optimizada y análisis predictivo de rotación y ausentismo. A futuro: agentes de RRHH pueden gestionar el ciclo completo de selección para posiciones de alta rotación —fuente de candidatos, cribado, programación de entrevistas, evaluaciones iniciales—. La planificación predictiva de mano de obra en SAP EWM anticipa necesidades de fuerza laboral antes de que surjan brechas. Los perfiles de RRHH se reconvierten hacia diseño de parámetros, gobernanza del sistema y gestión de casos complejos.

Dimensiones del impacto ocupacional y sobre perfiles (C2 = 4 – Alto)

El impacto sobre el empleo de esta tendencia es alto y estructural, aunque su mecanismo de acción es distinto al de la robotización física: **no elimina puestos de trabajo físico sino que reduce o elimina el contenido de trabajo de análisis, coordinación y decisión rutinaria en múltiples perfiles**. Las tareas desplazadas son, paradójicamente, las que definen el grueso del tiempo de trabajo de muchos perfiles técnicos y administrativos de nivel medio.

- Perfiles con mayor transformación de tareas: planificador de producción y de cadena de abastecimiento, analista de compras y abastecimiento, coordinador de logística, técnico de mantenimiento (nivel de programación de trabajos), inspector/analista de control de calidad, analista de RRHH (selección, programación de turnos), supervisor de primera línea (gestión de excepciones del mes).
- Nuevas competencias demandadas en todos los perfiles afectados: gobernanza de agentes de IA (definición de parámetros, umbrales de autonomía), supervisión de decisiones automatizadas y detección de errores sistémicos, gestión de excepciones complejas fuera del modelo, validación de outputs de IA, diseño de flujos de trabajo human-in-the-loop, comprensión básica de cómo funcionan los modelos que se supervisan [9][15].
- Nuevos roles emergentes: supervisor de operaciones de agentes, auditor de decisiones automatizadas, especialista en orquestación de procesos humano-máquina, Ingeniero de Prompts Industriales (para copilots industriales). Gartner anticipa que estos títulos se generalizarán para 2030 [16].

- Proyección sobre el empleo neto: Gartner (mayo 2026) concluye que el negocio autónomo será creador neto de empleo para 2028-2029, sólo si las organizaciones invierten en amplificación de capacidades humanas. El 80% de organizaciones que reduce plantilla sin rediseñar roles no captura el valor de la inversión [8].

Anexo A4.5. Evidencia empírica internacional

Datos cuantitativos de referencia

- Customer Times Research, AI in Manufacturing 2025 Report: la IA predictiva alcanzó una tasa de ROI positivo del 95% en despliegues maduros, con el 27% logrando recuperación de inversión en 12 meses. En el horizonte 2026, se proyecta que los agentes autónomos gestionen el 30-50% de las decisiones de rutina (reposición, programación de mantenimiento). Las cadenas de suministro autocurativas serán operacionales en organizaciones líderes. Los copilots industriales serán usados por más del 50% de la fuerza laboral diariamente [1].
- Gartner, Top Strategic Technology Trends 2025 y press releases 2025-2026: el gasto en software de agentes de IA alcanzará USD 206,5 mil millones en 2026 y USD 376,3 mil millones en 2027 —frente a USD 86,4 mil millones en 2025—. Gartner proyecta además que para 2029, el 50% de los trabajadores del conocimiento desarrollará nuevas habilidades para trabajar con, gobernar o crear agentes de IA [3][7].
- Gartner (mayo 2026), Autonomous Business Survey: el 80% de las organizaciones reporta reducciones de plantilla vinculadas a automatización autónoma, pero esas reducciones no se traducen en mejoras de ROI. Gartner concluye que el negocio autónomo será creador neto de empleos para 2028-2029, impulsado por formas de trabajo que la IA no puede absorber, como por ejemplo, situaciones en que el humano requiere de otro humano para generar confianza [8].
- WEF (febrero 2026): el WEF recomienda el modelo 'IA + humano en el ciclo' (human-in-the-loop): automatización para ejecución, humanos para juicio, creatividad y relaciones. Describe la transformación de roles —de gestores de procesos a gestores de agentes y validadores de decisiones— como la reconversión central del trabajo en la era de la IA agéntica [9].
- Resultados de negocio documentados en manufactura (Customer Times / DZone, 2024-2026): detección de defectos con IA: 97-99% de precisión vs. 70-80% en muestreo manual, reducción de defectos 30-50%, reducción de tiempo de inactividad no planificado: 35-45%, reducción de costos de mantenimiento: 10-25%, reducción de

escasez de inventario: hasta 50%, ROI a tres años proyectado: hasta 457% en despliegues integrados IT/OT [1][10].

Casos industriales ilustrativos

- SAP Joule – Agentes autónomos para supply chain (2025-2026): SAP anunció en Sapphire 2025 y 2026 el despliegue de agentes Joule para decisiones autónomas en cadena de suministro: el 'Shopfloor Supervisor Agent' gestiona proactivamente interrupciones de planta —como fallas de máquinas— y ejecuta el reprogramado necesario; el 'Field Service Dispatcher Agent' programa y optimiza órdenes de servicio de forma autónoma. Disponibles en producción desde Q4 2025 [11].
- Siemens Industrial Copilot / AI Agents (Automate 2025): Siemens anunció en la feria Automate 2025 el lanzamiento de Agentes de IA Industriales: el salto desde copilots (IA que recomienda) hacia agentes semi-autónomos que ejecutan procesos industriales completos de extremo a extremo dentro del ecosistema Industrial Copilot (Xcelerator). El lanzamiento marca la transición del paradigma de soporte al paradigma de acción autónoma en manufactura [12].
- Reposición autónoma de inventarios (múltiples empresas): los sistemas de IA agéntica aplicados a reposición de insumos tipo C generan y aprueban órdenes de compra sin intervención humana, dentro de umbrales predefinidos. Las cadenas de suministro autocurativas detectan retrasos de proveedores, evalúan alternativas y colocan nuevas órdenes en un plazo de cuatro horas —un ciclo que requería 1-3 días de trabajo humano coordinado [1].
- Control de calidad agéntico en automotriz: fabricantes automotrices que implementan sistemas de control de calidad agéntico reportan reducciones del 95% en tasas de defectos y 60% de disminución en incidentes de recall. Los sistemas identifican patrones en defectos y ajustan automáticamente parámetros del proceso de manufactura para prevenir fallas futuras [13].
- Siemens Energy / SAP Digital Manufacturing: Siemens Energy implementó SAP Digital Manufacturing para consolidar y estandarizar operaciones en sus principales instalaciones de producción, logrando visibilidad end-to-end en tiempo real de los procesos productivos, seguimiento de rendimiento y mayor agilidad operacional —incluyendo monitoreo de la efectividad global del equipo (OEE) y reducción de tiempo de inactividad [14].

Referencias

- [1] Customer Times Research (2025). AI Automation in Manufacturing 2025 – Market Report & Insights. Disponible en: <https://www.customertimes.com/ai-automation-in-manufacturing-2025-report> [Inflexión 2024; copilots industriales USD 5BUSD 13B; ROI positivo 95%; 15-40% mejora en precisión de pronóstico; 30-50% de decisiones rutinarias autónomas proyectadas para 2026; vendedores clave: Microsoft, SAP, Siemens].

- [2] IBM (2025). 'How Agentic AI in Manufacturing Drives Transformation'. Disponible en: <https://www.ibm.com/think/topics/agentic-ai-manufacturing> [Descripción operativa de IA agéntica en manufactura; coordinación de fábricas para responder a condiciones cambiantes; requisito de infraestructura IoT y MES para IA en tiempo real].

- [3] Gartner (2025). 'Top Strategic Technology Trends for 2025: Agentic AI' y 'Gartner Predicts Over 40% of Agentic AI Projects Will Be Canceled by End of 2027'. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2025-06-25-gartner-predicts-over-40-percent-of-agentic-ai-projects-will-be-canceled-by-end-of-2027> [33% software empresarial con IA agéntica para 2028 (desde <1% en 2024); 15% de decisiones cotidianas autónomas para 2028; >40% proyectos agénticos cancelados para 2027].

- [4] Deloitte (2026). 'The agentic reality check: Preparing for a silicon-based workforce'. Deloitte Insights. Disponible en: <https://www.deloitte.com/us/en/insights/topics/technology-management/tech-trends/2026/agentic-ai-strategy.html> [30% explora, 38% piloto, 14% listo para producción, 11% en producción, 42% sin estrategia formal; 80% organizaciones reporta reducciones de plantilla sin ROI].

- [5] Jotform (2026). 'How AI is used in manufacturing to create smarter factories'. Disponible en: <https://www.jotform.com/ai/agents/ai-in-manufacturing/> [Mercado IA manufactura USD 5,32B en 2024USD 47,88B en 2030; CAGR 46,5%; 23% empresas escala agentes; Norteamérica 33,2% de cuota de mercado].

- [6] McKinsey & Company (2025). 'AI in the workplace: A report for 2025'. McKinsey Insights. Disponible en: <https://www.mckinsey.com/capabilities/tech-and-ai/our-insights/superagency-in-the-workplace-empowering-people-to-unlock-ais-full-potential-at-work> [88% organizaciones usa IA regularmente; 35% preocupación por desplazamiento laboral; 51% por riesgos de ciberseguridad; concepto de 'superagency' humano-IA].

- [7] Gartner (agosto 2025). 'Gartner Predicts 40% of Enterprise Apps Will Feature Task-Specific AI Agents by 2026'. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2025-08-26-gartner-predicts-40-percent-of-enterprise-apps-will-feature-task-specific-ai-agents-by-2026-up-from-less-than-5-percent-in-2025> [Para 2029: 50% de trabajadores del conocimiento desarrollará habilidades para trabajar con, gobernar o crear agentes de IA; evolución en 5 etapas].

- [8] Gartner (mayo 2026). 'Gartner Says Autonomous Business and AI Layoffs May Create Budget Room, but Do Not Deliver Returns'. Disponible en: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2026-05-05-gartner-says-autonomous-business-and-artificial-intelligence-layoffs-may-create-budget-room-but-do-not-deliver-returns> [80% reporta reducciones laborales sin ROI; negocio autónomo será creador neto de empleos 2028-2029; gasto en software de agentes: USD 86,4B (2025)USD 206,5B (2026)USD 376,3B (2027)].

- [9] World Economic Forum (febrero 2026). 'The AI-driven workforce is here. How should your industry transform?'. Disponible en: <https://www.weforum.org/stories/2026/02/workforce-transformation-ai-jobs/> [Modelo IA+humano en ciclo; redefinición de roles; gemelos digitales de trabajo; gobernanza de IA responsable como imperativo].

-
- [10] DZone (2026). 'AI in Manufacturing 2026: Solutions, Benefits, Challenges'. Disponible en: <https://dzone.com/articles/ai-in-manufacturing-2026-solutions-benefits-challe> [Detección de defectos 97-99%; reducción downtime 35-45%; reducción costos mantenimiento 10-25%; ROI proyectado hasta 457% en despliegues integrados; IA agéntica en mantenimiento: del alertar al ejecutar].
-
- [11] SAP News Center (mayo 2025 y mayo 2026). 'SAP Unveils AI-Powered Innovations for Network-Centric Supply Chain Management' y 'Building the Autonomous Supply Chain'. Disponible en: <https://news.sap.com/2025/05/ai-powered-innovations-network-centric-supply-chain-management/> [Shopfloor Supervisor Agent; Field Service Dispatcher Agent; Joule Agents para logística; planificación predictiva de mano de obra en EWM; disponibilidad Q4 2025].
-
- [12] Manufacturing Dive (octubre 2025). '2026: The year agentic AI transforms industrial manufacturing'. Disponible en: <https://www.manufacturingdive.com/spons/2026-the-year-agentic-ai-transforms-industria-l-manufacturing/812536/> [Siemens AI Agents en Automate 2025: de copilots a agentes semi-autónomos; proceso industrial end-to-end; barrera cultural como principal obstáculo].
-
- [13] Third Eye Data / various (2026). 'Top 25 Agentic AI Use Cases Delivering Results in 2025'. Disponible en: <https://thirdeyedata.ai/data-ai-industry-insights/top-25-agentic-ai-use-cases-in-2025> [Control de calidad agéntico automotriz: 95% reducción de defectos, 60% reducción de recalls; reclutamiento agéntico: 50% reducción tiempo-to-hire].
-
- [14] LeverX (2025). 'The Future of Industry 4.0 with SAP'. Disponible en: <https://leverx.com/newsroom/the-future-of-industry-4-0-with-sap> [Siemens Energy + SAP Digital Manufacturing: visibilidad end-to-end en tiempo real, OEE, reducción de tiempo de inactividad].
-
- [15] Sprinklr / Ampcome (2025-2026). 'Agentic AI for Manufacturing: Use Cases and Examples'. Disponible en: <https://www.sprinklr.com/blog/agentic-ai-in-manufacturing/> [WEF junio 2025: confianza como principal barrera; integración de sistemas legacy como obstáculo técnico central; construcción gradual de confianza mediante pilotos HITL].
-
- [16] Parseur (2026). 'Future of Human-in-the-Loop AI (2026) - Emerging Trends & Hybrid Automation Insights'. Disponible en: <https://parseur.com/blog/future-of-hitl-ai> [Roles emergentes: AI Auditor, AI Risk Manager, Human-in-the-Loop Supervisor; NIST AI RMF; certificaciones de confianza en IA; HITL como diseño central para 2030].
-
- [17] Siemens Xcelerator Community (octubre 2025). 'Human-in-the-Loop: Why Trust and Responsibility Are the True Accelerators of AI'. Disponible en: <https://community.xcelerator.siemens.com/public/blogs/human-in-the-loop-why-trust-and-responsibility-are-the-true-accelerators-of-ai-2025-10-14> [OECD 2024 AI Governance Outlook: adopción sostenible depende del equilibrio entre autonomía y supervisión; diseño para potenciación, no sustitución].
-