

El estado del arte del TPM – 2026

Digitalización, humanización, riesgo y la coordinación como nueva competencia central

*Informe de investigación preparado por: Humberto Alvarez Laverde
The TPM Academy una UEN de Apsoluti Business –
Barcelona - Septiembre 2026*

Introducción

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) atraviesa en la última década (2015–2026) una reestructuración silenciosa más que una revolución paradigmática. El marco de ocho pilares del Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) y el indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) siguen siendo el sustrato conceptual, pero la evolución real ya no proviene de la certificación normativa sino de tres fuerzas que operan simultáneamente: la digitalización como variable estructural, el retorno al factor humano bajo el paradigma de Industry 5.0, y la integración del riesgo en las métricas de decisión. A estas tres se suma una cuarta, frecuentemente eclipsada por la narrativa tecnológica: la innovación en management, donde la coordinación cross-funcional, la gestión por compromisos y el aprendizaje organizacional tipo monozukuri emergen como las competencias que determinan si el TPM se convierte en capacidad sostenible o permanece como un programa de herramientas.

La tesis central de este informe de investigación es que en un entorno de conectividad tecnológica creciente y complejidad de cadena de valor extendida, la capacidad de coordinación está desplazando a la confiabilidad del equipo como el producto más crítico del TPM. Para sostener esta tesis con evidencia geográficamente diversa, el informe cruza estudios de caso y marcos conceptuales de Japón (origen institucional del TPM y del JIPM), Europa (origen del vocabulario de Industry 5.0 y casos de manufactura automotriz), Estados Unidos (casos de manufactura regulada y arquitecturas de IA agéntica) y América Latina (aplicaciones en PYMES), evitando que la lectura del estado del arte quede capturada por la experiencia de una sola región industrial.

Primera transformación: digitalización como variable estructural

El TPM clásico dependía de listas de verificación, registros en papel y auditorías periódicas. Su limitación estructural era clara: los datos llegaban tarde, eran muestrales y dependían de la disciplina del operador. La digitalización ha transformado esa limitación en una oportunidad, pero no sin introducir nuevas tensiones. El IoT permite ahora datos en tiempo real sobre el estado de los equipos, facilitando la implementación de mantenimiento predictivo y mantenimiento autónomo que se traduce en mejoras del OEE. Los CMMS han evolucionado para incluir funcionalidades de análisis de datos de sensores, permitiendo anticipar fallas y mejorar la confiabilidad. La integración de IoT, análisis de big data y CMMS ha pasado de ser una aspiración a una infraestructura operativa.

La evidencia empírica, sin embargo, revela una brecha persistente entre la adopción tecnológica y la mejora efectiva de decisiones, y esa brecha se repite con variaciones locales

en distintas regiones industriales. Conviene revisar el patrón región por región antes de generalizar.

Europa: disciplina operativa antes que sofisticación analítica

Un estudio de caso publicado en el marco de la conferencia ISPEM 2023 (Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance, Springer, editado por investigadores polacos) documentó la implementación de TPM en las células de torneado CNC y centros de mecanizado CNC de una planta manufacturera automotriz europea. Tras introducir procedimientos de mantenimiento autónomo y planes de mantenimiento preventivo derivados del análisis de manuales técnicos y del conocimiento interno del personal, las averías por fallo se redujeron un 23% en los tornos CNC y un 38% en los centros de mecanizado CNC, con una mejora asociada del OEE de aproximadamente cinco puntos porcentuales. El caso es representativo de un patrón recurrente en la literatura europea reciente: las ganancias más consistentes y replicables provienen de la disciplina operativa – limpieza, inspección, estandarización de procedimientos– antes que de la sofisticación analítica; la tecnología acompaña el resultado, pero no lo sustituye.

Estados Unidos: la trazabilidad regulatoria como motor digital

En sectores fuertemente regulados, la evidencia estadounidense muestra un patrón distinto. Un fabricante de contrato de dispositivos médicos y productos farmacéuticos en Estados Unidos documentó una mejora del OEE del 64% al 79%, lograda mediante una combinación de reducción de tiempos de cambio de formato (changeover) y digitalización del control de calidad. La lectura es relevante para matizar el eje de digitalización: en industrias sujetas a exigencias normativas estrictas (FDA y equivalentes), la ganancia digital no se concentra tanto en la multiplicación de sensores cuanto en la trazabilidad electrónica y el registro auditable de calidad, que reduce simultáneamente el tiempo de parada por documentación y el riesgo de no conformidad. Esto sugiere que el valor marginal de la digitalización del TPM depende del régimen regulatorio del sector tanto como de la madurez tecnológica de la planta.

América Latina: sostenibilidad del resultado sobre la instalación de sensores

Un estudio de caso en PYMES metalmecánicas en LATAM mostró que la aplicación integrada de herramientas Lean y TPM mejoró el OEE del 64.93% al 81.15% para un modelo de producción y redujo el tiempo de ciclo de 50.69 a 43.87 horas. Los resultados apuntan a la necesidad de sostener la mejora e involucrar a los empleados, y sugieren que la investigación futura debe incluir componentes digitales para potenciar el mantenimiento predictivo. El dato es revelador en la misma dirección que los casos europeo y estadounidense: la tecnología funciona, pero la sostenibilidad del resultado depende de factores organizacionales que exceden la instalación de sensores, un hallazgo que se repite con independencia de la región industrial y del nivel de renta del país donde se implementa.

Japón: el JIPM como árbitro internacional más que como fuente de casos digitales

Japón ocupa un lugar distinto en este mapa. No aparece tanto en la literatura reciente como fuente de estudios de caso de digitalización cuanto como el árbitro institucional de la disciplina completa. El propio proceso de certificación del Premio a la Excelencia TPM del JIPM, entregado anualmente en Kioto desde 1964, atrae hoy candidaturas de organizaciones manufactureras de más de una decena de países en una sola edición —entre ellas plantas de India, Tailandia, Ucrania y proveedores europeos de componentes electrónicos—, lo que confirma que el marco clásico de los ocho pilares sigue funcionando como el lenguaje común sobre el que las distintas regiones montan sus capas digitales locales, más que como un capítulo cerrado de la historia del TPM. Esta función de estándar internacional es, en sí misma, un dato relevante para el eje de digitalización: la comparabilidad global de resultados de OEE y TPM depende de que exista una autoridad certificadora compartida, algo que ningún marco puramente digital (TPM 4.0, gemelos digitales, IA agéntica) ha logrado replicar todavía a esa escala.

Hacia un marco conceptual: Smart TPM

La propuesta más ambiciosa en la dirección digital es el marco Smart TPM, que integra la metodologías diversas Lean, RCM3, PdM y otras con herramientas digitales avanzadas IA/ML/DL para clasificación sistemática de modos de falla, priorización de mantenimiento basada en riesgo y optimización de desempeño en tiempo real. Utilizando monitoreo de condición habilitado por IIoT, simulaciones de gemelos digitales y analítica predictiva basada en machine learning, el marco soporta detección de anomalías en tiempo real, diagnóstico cognitivo y planificación adaptativa de mantenimiento. La contribución conceptual es significativa porque no trata la digitalización como un añadido a los pilares clásicos, sino como una reconfiguración de su lógica operativa. Aun así, se reconoce que el marco es conceptual y requiere validación mediante estudios de caso, una limitación que los casos regionales reseñados arriba solo cubren parcialmente: ninguno de ellos implementa todavía la arquitectura completa de Smart TPM, sino componentes aislados de ella (CMMS con analítica de sensores, changeover digital, mantenimiento predictivo básico).

Segunda transformación: el retorno al factor humano en clave Industry 5.0

La segunda fuerza es, en cierto sentido, una corrección a la primera. La automatización predictiva, llevada al extremo, tiende a convertir al operador en un recolector de datos o en un receptor pasivo de alertas algorítmicas. Conviene precisar el origen de este vocabulario, porque no es primeramente académico ni corporativo: Industry 5.0 es un marco de política industrial publicado por la Dirección General de Investigación e Innovación de la Comisión Europea en enero de 2021, que complementa la Industria 4.0 desplazando el foco desde la productividad puramente tecnológica hacia la sostenibilidad, la resiliencia de las cadenas de suministro y el bienestar del trabajador industrial en el centro del proceso productivo, moviendo el valor desde el accionista hacia el conjunto de partes interesadas. Ese origen institucional explica por qué buena parte de la literatura reciente sobre TPM contemporáneo proviene de journals y consorcios de investigación europeos, y por qué el vocabulario de 'centrado en el humano' se ha convertido en un requisito de facto en las convocatorias de innovación industrial de la Unión Europea, más allá de su valor como tendencia de gestión.

La literatura reciente sobre Industry 5.0 rechaza explícitamente la deriva hacia el operador pasivo. Un artículo de 2026 sobre la transición del mantenimiento predictivo 4.0 al 5.0 propone un marco que reintegra al humano en el ciclo de aprendizaje mediante detección de deriva, reentrenamiento condicional y retroalimentación estructurada del operador, preservando la supervisión humana en un proceso de decisión humano-máquina más que en una mera predicción técnica.

La misma lógica aparece en una arquitectura de 2026 que integra gemelo digital e inteligencia artificial agéntica para mantenimiento predictivo, desarrollada mayoritariamente en centros de investigación estadounidenses y de Oriente Medio. El problema que aborda es preciso: la mayoría de los modelos PdM operan como cajas negras, lo que limita la confianza humana y previene la colaboración dinámica entre personas y máquinas. La solución propuesta incorpora un componente de explicabilidad que traduce las salidas del modelo en insights accionables, y un módulo de IA agéntica que orquesta el razonamiento y gestiona el diálogo humano-IA, habilitando aprendizaje continuo basado en retroalimentación del operador. El principio subyacente es que la predicción sin explicación no genera acción confiable.

Esta reorientación humanista no es exclusiva del discurso académico ni europeo. El caso de la planta de Sigma en La Bureba (Burgos, España), primera fábrica europea del sector cárnico en recibir el Premio a la Excelencia TPM del JIPM, ilustra la dimensión cultural del modelo. Su director lo describe explícitamente como un cambio cultural que fomenta la participación y el compromiso de todos los trabajadores, independientemente de sus áreas o funciones. La planta inició el programa en 2018 en el área de loncheados y tras dos auditorías rigurosas obtuvo el reconocimiento en enero de 2025. El dato relevante no es el premio en sí, sino la duración del proceso —siete años— y la centralidad que la organización atribuye al factor humano sobre el tecnológico, un patrón temporal que coincide con el de las plantas asiáticas y latinoamericanas que reciben el mismo reconocimiento: el JIPM exige entre cuatro y cinco años de actividad sostenida sobre los ocho pilares como condición mínima para la candidatura, con independencia del país de origen.

Tercera transformación: OEE desde el riesgo y la contextualización

El OEE clásico mide disponibilidad, rendimiento y calidad como un producto de tres componentes. Su limitación estructural, señalada recientemente en la literatura, es que trata los tres componentes como igualmente importantes sin importar el contexto operativo. Esa suposición de peso fijo distorsiona la priorización de mantenimiento en entornos donde un componente domina las pérdidas operativas. Un marco propuesto en 2026, Adaptive OEE, reemplaza el producto $A \times P \times Q$ por un modelo de ponderación contextual usando FUCOM-TOPSIS, derivando pesos específicos del contexto a partir del juicio experto con consistencia matemáticamente garantizada. Los estudios de caso que cubren escenarios dominados por disponibilidad, rendimiento y calidad sugieren que los rankings del OEE clásico no se preservan bajo configuraciones asimétricas de peso, precisamente la condición que la ponderación igualitaria no puede acomodar.

La implicación para la gestión es directa: un OEE de 95% en un equipo crítico con fallas catastróficas potenciales no es comparable con un OEE de 85% en un equipo auxiliar cuya falla tiene impacto marginal. El OEE clásico, al ignorar esa asimetría, puede inducir decisiones

de asignación de recursos subóptimas. La incorporación del riesgo —probabilidad de falla multiplicada por impacto financiero— en el cálculo de efectividad no es un refinamiento cosmético, sino un cambio en la naturaleza del indicador: de métrica retrospectiva de eficiencia a instrumento prospectivo de decisión estratégica.

Cuarta transformación: innovación en management, coordinación y monozukuri

La cuarta dirección es la más fácilmente eclipsada por la tecnología, y posiblemente la más determinante. Su núcleo no reside en nuevas herramientas o algoritmos, sino en una transformación profunda de la manera en que las organizaciones coordinan: del 'reparto de tareas' a la 'navegación de compromisos', de la 'colaboración funcional mecánica' a la 'coordinación conversacional cross-funcional', y de la 'desconexión entre operación diaria y estrategia' al 'acoplamiento rítmico entre ambas'.

El TPM clásico ya enfatizaba los equipos cross-funcionales, pero en la práctica esa colaboración solía operar en modo proyecto: se activaba ante un problema, se dismantelaba al resolverlo y la coordinación se disipaba con el equipo. El insight que emerge con fuerza en la última década es que el valor real de lo cross-funcional no radica en 'sentar a personas de distintos departamentos en la misma sala', sino en comprender la organización como una red de peticiones, compromisos y estados de cumplimiento. La teoría de las 'conversaciones para la acción' sostiene que la unidad básica de la coordinación no es la asignación de tareas, sino el ciclo petición-compromiso-cumplimiento-aceptación. Cuando la operación diaria del TPM se inserta en ese ciclo, el reporte de una anomalía deja de ser la emisión de una orden de trabajo y se convierte en el establecimiento de un compromiso; la respuesta del personal de mantenimiento deja de ser un despacho y se convierte en la aceptación y ejecución de ese compromiso.

Esta perspectiva adquiere relevancia particular en la cadena de valor extendida. La investigación sobre colaboración en cadenas de suministro muestra que los contratos basados en modelos de teoría de juegos no cooperativos a menudo producen resultados pobres —calidad deficiente e incumplimiento— que perjudican tanto a compradores como a proveedores. Los aspectos no contractuales de la relación, como la naturaleza y continuidad del vínculo, importan precisamente cuando lo deseado (calidad, nivel de servicio, reacción ante eventos imprevistos) es difícil de especificar por anticipado. Los hallazgos indican que se obtienen mayores beneficios y eficiencia cuando los proveedores realizan inversiones específicas para señalar confiabilidad, cuando los compradores recompensan a los buenos proveedores con reconocimientos simbólicos, y cuando los proveedores comparten los beneficios de inversiones en reducción de costos con socios de largo plazo. En otras palabras: la coordinación en la cadena extendida, por ejemplo la creada por Airbus en sus operaciones de fabricación, se construye sobre confianza y compromisos, no solo sobre datos compartidos.

La gestión de la operación diaria también se desplaza de la navegación por tareas a la navegación por compromisos. El sistema tradicional es intensamente task-oriented: listas de verificación, planes de lubricación, órdenes de mantenimiento preventivo. Esa lógica funciona en entornos estables, pero sus límites se vuelven evidentes cuando la complejidad del equipamiento aumenta y la volatilidad de la cadena de suministro se intensifica. La tarea

completada no equivale al compromiso cumplido. La literatura sobre implementación de TPM, TQM y RCM identifica consistentemente que el compromiso de la dirección es una precondition, y que los factores intangibles –motivación, involucramiento, aceptación– son difíciles de gestionar pero determinantes. Las categorías que emergen como críticas para gestionar el compromiso incluyen liderazgo y soporte, planificación estratégica, entrenamiento y educación, monitoreo y evaluación, compra e empoderamiento, e información y comunicación.

El acoplamiento entre gestión diaria y objetivos estratégicos encuentra en el hoshin kanri del Toyota Production System –desarrollado en Japón y hoy adoptado como referencia en plantas de las cuatro regiones revisadas en este informe– un antecedente maduro. Este proceso conecta todos los niveles de gestión y empleados en un diálogo recíproco de desempeño: la dirección transmite objetivos de calidad y reducción de desperdicio hacia abajo en la jerarquía; los objetivos son asumidos como compromisos por el personal apropiado, que evalúa su capacidad de alcanzarlos y comunica su estimación de factibilidad y cambios requeridos de vuelta a la dirección. La reciprocidad, confianza y respeto juegan un papel central porque los empleados entienden que la dirección no estableciera compromisos inalcanzables, y los gestores aprecian que los empleados tienen conocimiento experto del trabajo y proporcionarán una evaluación franca, como su capacidad de renegociar sus compromisos, esto es: declinar, renegociar o ajustar. Este mecanismo de establecimiento de compromisos conversacionales top-down y medios de logro bottom-up permite la alineación de unidades organizacionales de mayor a menor escala. La innovación está en la introducción de procesos conversacionales para establecer los compromisos, en lugar de gestionar y delegar tareas.

Finalmente, la organización se redefine como un sistema que aprende a mejorar su propia capacidad de mejorar, que es el sentido profundo del monozukuri. Este término japonés significa 'el proceso de fabricar cosas', pero su connotación organizacional va más allá: alude a una acumulación colectiva de capacidad mediante métodos estandarizados, obsesión por el detalle y respeto por el proceso. La literatura sobre este concepto distingue tres principios complementarios: monozukuri (la pasión por innovar y hacer bien las cosas), hitozukuri (la pasión por educar a las personas mediante aprendizaje a lo largo de la vida) y kotozukuri (la pasión por fomentar acciones y cambios que crean valor). El TPM y TPS incorpora prácticas como shuhari (rutinización a través del autodesarrollo) y hansei (autorreflexión), que involucran tanto a individuos como a equipos en evaluar su desempeño para identificar y rectificar debilidades.

La implicación para el TPM es que su madurez no debería medirse solo por el nivel de OEE o la completitud de los pilares, sino por la capacidad de la organización de aprender a coordinar por sí misma. Una organización TPM madura no es la que posee los sensores más avanzados o el CMMS más completo, sino la que, ante un nuevo modo de falla o una interrupción en la cadena de suministro, puede formar rápidamente una red cross-funcional de compromisos, generar planes de acción mediante la conversación y sedimentar la experiencia en patrones de coordinación reutilizables.

Tensiones no resueltas y agenda de investigación

Las cuatro transformaciones descritas no operan sin fricción, y la comparación entre regiones ayuda a precisar dónde está la fricción real. La primera tensión es entre estandarización y contextualización. El éxito histórico del JIPM se construyó sobre la promesa de un marco aplicable a toda planta, en cualquier país. La digitalización, paradójicamente, está fragmentando esa universalidad: los marcos Smart TPM y Adaptive OEE son adaptativos por diseño, pero esa adaptabilidad exige capacidades de diagnóstico contextual que muchas organizaciones —no solo en América Latina, sino también en PYMES europeas y estadounidenses fuera de las cadenas de valor de las grandes multinacionales— no poseen todavía. La evidencia de que Sudamérica y África están subrepresentadas en la investigación sobre TPM sugiere que la brecha no es solo tecnológica sino de capacidad de investigación y adaptación; sin embargo, los casos europeo y estadounidense revisados en este informe muestran que la brecha entre adopción tecnológica y sostenibilidad del resultado tampoco desaparece automáticamente con mayor renta o infraestructura digital disponible.

La segunda tensión es entre empoderamiento humano y automatización algorítmica. Los marcos de Industry 5.0 —de origen europeo— abogan por mantener al humano en el ciclo, pero la implementación práctica de sistemas explicables y agénticos, desarrollada sobre todo en centros de investigación estadounidenses, requiere inversiones que compiten con la adopción de soluciones más simples y opacas. La pregunta empírica pendiente es si los operadores efectivamente ejercen juicio crítico sobre las recomendaciones algorítmicas, o si la 'supervisión humana' se convierte en una validación ritual de decisiones ya tomadas por el sistema.

La tercera tensión es entre la retórica de la coordinación y su medición. Es relativamente sencillo medir OEE, disponibilidad o MTBF. Es considerablemente más difícil medir la calidad de los ciclos de compromiso entre personas, la integridad de las conversaciones para la acción o la velocidad de formación de redes cross-funcionales ante problemas nuevos. Sin métricas creíbles, la coordinación corre el riesgo de permanecer como un ideal normativo más que como una competencia gestionable, y esta dificultad de medición es idéntica en Kioto, Boston, Zaragoza, Tijuana, Burgos o Bogotá: ningún marco regional revisado en este informe ha resuelto todavía cómo cuantificar la coordinación con el mismo rigor con que cuantifica el OEE.

Implicaciones prácticas

Para los managers, la lectura integrada de estas cuatro fuerzas —y de su variación regional— sugiere una secuencia de inversión. La tecnología es necesaria pero insuficiente: sensores y CMMS sin disciplina de coordinación producen datos que no se convierten en acción, tanto en una PYME metalmecánica latinoamericana como en una planta automotriz europea o un fabricante regulado estadounidense.

La inversión más crítica reside en cultivar la disciplina de la conversación cross-funcional, mantener la integridad de los ciclos de compromiso, acoplar el ritmo de la gestión diaria con

los compromisos estratégicos y convertir el aprendizaje organizacional en un hábito cultural. La experiencia en La Bureba, con siete años entre el inicio del programa y el reconocimiento de excelencia, sugiere que la escala temporal del TPM es la escala temporal de un cambio cultural, no la de un proyecto tecnológico; el requisito mínimo de cuatro a cinco años de actividad sostenida que exige el propio JIPM para cualquier candidatura, de cualquier país, corrobora esa misma escala temporal como estándar internacional.

Para los investigadores, el estado del arte del TPM no debería evaluarse únicamente por la penetración digital o la velocidad con que se proponen nuevos pilares, sino por el grado de evolución de sus mecanismos de coordinación. Las preguntas productivas no son '¿el TPM sigue siendo relevante?' sino '¿en qué condiciones, y mediante qué mecanismos, las organizaciones están transformando el TPM de un sistema de tareas en una red de compromisos?'.

Una agenda comparativa explícita entre Japón, Europa, Estados Unidos y América Latina – hoy ausente de la literatura, que tiende a estudiar cada región por separado– permitiría distinguir qué patrones de coordinación son universales y cuáles dependen de instituciones, regulación o cultura organizacional locales. La tecnología conecta información, pero solo la conversación conecta personas; y solo las personas conectadas aumentan la confianza, su compromisos y su “engagement” y pueden antes de que ocurra una falla o se propague una interrupción, construir juntas una acción efectiva. Ese es, con toda probabilidad, el verdadero frente del TPM en la próxima década.

Referencias

A continuación las referencias organizadas por eje temático y región. Se priorizan las directamente accesibles y que corresponden a las cuatro fuerzas descritas en el informe, con incorporación de fuentes europeas, estadounidenses y japonesas para equilibrar la representación geográfica.

Digitalización y TPM 4.0

Gomaa, A. H. (2025). Advancing Total Productive Maintenance in Smart Manufacturing: From Methodology to Implementation. *Intelligent and Sustainable Manufacturing*, 2(2), 10019. DOI: 10.70322/ism.2025.10019

Propone el marco TPM 4.0 integrando DMAIC con IIoT, gemelos digitales y analítica predictiva basada en machine learning. Conceptual, pero ofrece una hoja de ruta clara.

Jurewicz, D. et al. (2024). Implementation of Total Productive Maintenance (TPM) to Improve Overall Equipment Effectiveness (OEE) – Case Study. En Burduk, A., Batako, A.D.L., Machado, J., Wyczółkowski, R., Dostatni, E., Rojek, I. (eds), *Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance III (ISPEM 2023)*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-44282-7_42

Caso europeo (planta automotriz, mecanizado CNC): reducción de averías del 23% (tornos) y 38% (centros de mecanizado) y mejora del OEE de ~5 puntos tras implementar mantenimiento autónomo y preventivo. Fuente principal del apartado 'Europa' del eje de digitalización.

TeepTrak. (2026). Pharma & Medical Device OEE Case Study: 64% → 79% With Faster Changeovers and Digital Quality. TeepTrak OEE Guide.

Caso de un fabricante de contrato estadounidense en dispositivos médicos y farma. Fuente principal del apartado 'Estados Unidos' del eje de digitalización; ilustra el peso de la trazabilidad regulatoria (FDA) como motor de la digitalización del TPM.

Bernal Pacheco, J. B., et al. (2026). Industry 4.0 Integrated into TPM to Improve Equipment Availability in the Manufacturing Industry. LACCEI 2026, Santiago de Chile.

Revisión sistemática de 70 estudios (2020-2025) con metodología PRISMA. Identifica una brecha crítica: muchas implementaciones de TPM son superficiales, centradas en rutinas básicas más que en análisis de datos.

Niranjan K. (2025). Evolution of TPM: From Traditional to Digital. LinkedIn Post.

Síntesis práctica (no académica) de cómo cada pilar clásico se actualiza con tecnología: 5S digital con AR, mantenimiento autónomo con edge analytics, Kaizen asistido por IA, mantenimiento planificado con gemelos digitales.

Factor humano e Industry 5.0

Directorate-General for Research and Innovation, European Commission. (2021). Industry 5.0 – Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry. Publicado el 5 de enero de 2021, por Maija Breque, Lars De Nul y Athanasios Petridis (DG RTD).

Documento fuente del concepto Industry 5.0 como marco de política industrial de la Comisión Europea; ancla institucionalmente el vocabulario 'centrado en el humano' usado en la literatura reciente de TPM 5.0.

Emerald Publishing. (2026). Benchmarking human, digital and green performance: a novel adaptive Total Productive Maintenance 5.0 maturity framework. Business & Information Systems Engineering, 33(13), 27.

Fundamenta el marco HDG-TPM5.0 (Human, Digital, Green). Identifica tres brechas: falta de modelos de madurez alineados con I5.0, dependencia de pesos estáticos de expertos y ausencia de mecanismos para traducir resultados en prioridades accionables.

Niranjan K. (2025). Op. cit.

El pilar de Formación y Educación con twist moderno (VR training, microlearning, matrices de competencias integradas con EAM) conecta con la dimensión humana del TPM 5.0.

OEE, métricas y evolución temporal

Emerald Publishing. (2026). A systematic literature review of OEE research: trends in performance metrics and digital integration in manufacturing. The TQM Journal, 38(11), 178.

Identifica tres períodos evolutivos: 1990-2000 (definiciones y estándares, dominio automotriz), 2008-2016 (alimentos y procesos, monitoreo digital básico) y post-2019 (Industry 4.0/5.0, analítica en tiempo real, consideraciones centradas en el humano).

Innovación en management, coordinación y monozukuri

Zekhnini, K., Cherrafi, A., Bouhaddou, I., Benghabrit, Y., & Garza-Reyes, J. A. (2020). Supply chain management 4.0: a literature review and research framework. Benchmarking: An International Journal, 28(2), 465-501.

Revisión sobre SCM 4.0 e impacto de tecnologías digitales en la cadena de suministro. Fundamenta el argumento de que la coordinación en la cadena extendida requiere más que conectividad técnica.

eMaint. (2023). Cómo un GMAO puede hacer posible el TPM.

Fuente práctica sobre cómo cada pilar TPM se facilita mediante CMMS.

BSI Group. (2025). Mejora de la eficiencia en la fabricación de automóviles mediante TPM.

Síntesis de los ocho pilares con énfasis en mejora enfocada.

Japón y el JIPM como referencia internacional

Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM). TPM Excellence Award / World Class TPM Achievement Award. Ceremonias anuales, Kioto, Japón (desde 1964).

Cobertura de prensa de ediciones recientes (2024-2026) documenta candidaturas de organizaciones de más de una decena de países por edición —incluyendo Tailandia (Thai Union, 2025), India (Bajaj Auto/Chetak, Sakata Inx, Amara Raja, Apcotex), Ucrania (Farmak, 2026) y proveedores europeos de componentes (TDK Electronics, planta de Xiamen, 2025)—, usada en este informe como evidencia del rol del JIPM como estándar y árbitro internacional del TPM más allá de Japón.