




# La formación del personal de mantenimiento para la industria 4.0

## *The training of maintenance personnel for industry 4.0*

Patricia Avitia-Carlos , Alex Bernardo Pimentel-Mendoza , José Luis Rodríguez-Verduzco , Bernabé Rodríguez-Tapia 

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, Baja California, México 

**Autor de correspondencia:** Patricia Avitia Carlos, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Universitario 1000, Unidad Valle de Las Palmas, 22260 Tijuana, Baja California, México. E-mail: [patricia\\_avitia@uabc.edu.mx](mailto:patricia_avitia@uabc.edu.mx). ORCID: 0000-0001-9448-7558.

Recibido: 20 de Septiembre del 2021

Aceptado: 5 de Diciembre del 2022

Publicado: 7 de Diciembre del 2022

**Resumen.** - *La industria 4.0 (I4.0) se caracteriza por la incorporación de tecnologías digitales a los procesos de manufactura, dotándolos de flexibilidad y capacidad de adaptación en tiempo real. El desarrollo de este tipo de industria se considera un factor competitivo a nivel mundial. Sin embargo, el sostenimiento de la I4.0 requiere la presencia de personal técnico competente capaz de llevar a cabo tareas de mejora y mantenimiento a sistemas de manufactura de alta digitalización. La zona conurbada de Tijuana-Tecate alberga industria manufacturera de los sectores electrónico, biomédico y aeroespacial, entre otros. La presencia de esta industria es fundamental dentro de las actividades económicas de la región. El objetivo del trabajo consistió en identificar las necesidades de formación asociadas al ejercicio efectivo de actividades de mantenimiento del personal técnico y de ingeniería que labora en empresas locales; así como las estrategias que éstas siguen para reentrenar y actualizar a dicho personal. En el presente trabajo de corte exploratorio, se realiza una revisión documental en cuanto a las habilidades técnicas requeridas para el desarrollo y sostenimiento de Industria 4.0, seguida de una entrevista semiestructurada a cinco miembros de la industria local responsables de áreas de mantenimiento industrial. El instrumento indagó dimensiones como tecnologías 4.0 empleadas, disponibilidad local de personal cualificado, competencias requeridas, esquemas internos de formación y estrategias para la retención y desarrollo del personal. A partir de los resultados puede observarse que las empresas entrevistadas no realizan colaboraciones con los programas educativos formales para atender las necesidades de capacitación y actualización del sector. Se identifica además un retraso en la implementación de tecnologías de industria 4.0 en la industria local y la predominancia de modelos tradicionales de mantenimiento, ya que solamente una empresa reporta el empleo de mantenimiento basado en la confiabilidad. El trabajo futuro consiste en ampliar el estudio enfocándolo en un solo sector de la industria de manufactura y realizando entrevistas a profundidad encaminadas al diseño de actividades conjuntas industria-academia para el registro de estándares de formación que deriven en la certificación de competencias específicas.*

**Palabras clave:** Industria 4.0; Formación técnica; Mantenimiento industrial.

**Abstract.** - *Industry 4.0 (I4.0) is characterized by the incorporation of digital technologies into manufacturing processes, giving them flexibility and the ability to adapt in real-time. The development of this type of industry is considered a competitive factor worldwide. However, the maintenance of I4.0 requires the presence of competent technical personnel capable of carrying out tasks of improvement and maintenance of highly digitized manufacturing systems. The Tijuana-Tecate metropolitan area is home to the manufacturing industry in the electronic, biomedical, and aerospace sectors, among others. The presence of this industry is fundamental to the region's economic activities. The objective of the work was to identify the training needs associated with the effective exercise of maintenance activities of technical and engineering personnel working in local companies; as well as the strategies they follow to retrain, and update said personnel. In this exploratory work, a documentary review is carried out regarding the technical skills required for the development and maintenance of Industry 4.0, followed by a semi-structured interview with five members of the local industry responsible for industrial maintenance areas. The instrument investigated dimensions such as 4.0 technologies used, local availability of qualified personnel, required skills, internal training schemes, and strategies for the retention and development of personnel. Results show that interviewed companies do not collaborate with education institutions to meet the training and updating needs of the sector. It is also identified a delay in the implementation of industry 4.0 technologies in the local industry and the predominance of traditional maintenance models since only one company reports the use of reliability-based maintenance. Future work consists of expanding the study focusing on a single sector of the manufacturing industry and conducting in-depth interviews aimed at designing joint industry-academia activities to register training standards that result in the certification of specific competencies.*

**Keywords:** Industry 4.0; Technical training; Industrial maintenance.



## 1. Introducción

El empleo de tecnologías digitales a lo largo de los procesos operativos para una integración vertical y horizontal de sistemas dentro de la empresa forma parte de lo que se ha denominado Industria 4.0 (I4.0). La I4.0 busca crear fábricas inteligentes, donde la integración de tecnologías digitales y computo analítico permita la comunicación máquina-máquina y máquina-humano [1]. Para ello, incorpora diversas tecnologías inteligentes, entre las cuales se encuentran los sistemas ciberfísicos, cómputo móvil, Internet de las cosas (IoT), Big Data e Inteligencia Artificial [2]. La función mantener se vuelve más compleja y requiere de un alto grado de especialización por parte del personal que la desempeña [3]. Por tanto, la digitalización de la I4.0 provee al departamento de mantenimiento de nuevas tecnologías, pero también de nuevos retos [4].

El mantenimiento constituye un factor global y económico dentro de la empresa. Generalmente es considerado parte de las operaciones, junto a la producción. Su gestión e implementación incide en la seguridad, productividad y calidad de la organización, siendo por tanto un factor crítico para su supervivencia y crecimiento. La industria moderna requiere del empleo de herramientas de mantenimiento rápidas e innovadoras para trabajar de modo eficiente [5]. Si consideramos adicionalmente el impacto que las tecnologías digitales han tenido en el mundo de los negocios y los procesos productivos; volviéndolos más dinámicos, globales y competitivos, observamos la necesidad de fortalecer la actividad de mantenimiento a fin de que se corresponda a estas necesidades. Por tanto, un área prioritaria de la I4.0 es la cooperación interdisciplinaria entre producción y mantenimiento, para alcanzar máxima eficiencia y generar sistemas de producción efectivos [6].

Si bien la I4.0 y las tecnologías que la constituyen han sido ampliamente abordados en la literatura

académica de la última década; los trabajos existentes se centran mayormente en las tecnologías involucradas y su impacto en procesos de manufactura particulares, sin observar a la organización y sus procesos de modo transversal [6]. Para [7] los cambios organizacionales son requeridos junto a los tecnológicos en el contexto de la I4.0. Sin embargo, existen pocas experiencias documentadas sobre la práctica corporativa y la implementación exitosa de I4.0 [8].

Asimismo, las implicaciones para el área de mantenimiento y su personal son escasamente referidas. La función de mantenimiento ha sido abordada con un enfoque centrado en la tecnología y eficiencia de la organización [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16]; aunque es necesario mencionar que entre estas se identifican algunas referencias al papel del Operador 4.0 [17], [18]. Este enfoque ha dejado de lado los requisitos de formación y actualización del personal técnico de operaciones, así como los esquemas que pudieran brindar respuesta a estas necesidades.

El presente trabajo busca identificar la situación de la industria de manufactura regional en cuanto a requerimientos y desarrollo de habilidades técnicas de I4.0 del personal de mantenimiento. Para ello se ha organizado de la siguiente manera: en la primera sección se exhiben las características sectoriales de la industria de manufactura local; la segunda sección describe la metodología empleada; en la tercera sección se da cuenta de los resultados; finalmente, las conclusiones se presentan en la cuarta y última sección del documento junto a las limitaciones del estudio.

## 2. El contexto de la industria de manufactura en la región Tijuana-Tecate

Se presentan a continuación algunos indicadores que describen la importancia de la industria de



manufactura local, con la finalidad de proporcionar el contexto en el cual se abordan las necesidades de formación técnica en I4.0 de los trabajadores de mantenimiento actuales y prospectivos de la región Tijuana-Tecate.

Citando datos de INEGI, los autores González Torres et al [19] señalan que en 2011 el sector industrial en México representó el 36% del PIB nacional, correspondiendo el 50% al sector manufacturero. En el mismo año, el sector industrial representó el 34% del PIB del estado de Baja California, del cual el 66% perteneció a la manufactura. Se destaca la especialización industrial del estado, en la que destacan los productos electrónicos. Empero, los citados autores indican que, en términos de Pymes, la adopción de tecnología en el estado es muy baja; mostrándose una falta de interés en invertir por considerar que no proporcionan beneficios a corto plazo.

Como se ha mencionado, el sector electrónico posee la mayor concentración de empresas y empleo en la industria de manufactura de Baja California con un total de 190 plantas y alrededor de 80 mil empleos directos. En segundo término, el sector de dispositivos médicos con 70 plantas y alrededor de 60 mil empleos. A su vez, el sector automotriz concentra 80 plantas y 26 mil empleos; en tanto el sector aeroespacial tiene presencia con 70 empresas y cerca de 20 mil personas empleadas. En su estudio sobre las capacidades técnicas de la industria en Baja California, Carrillo et al concluyen que son los ingenieros, técnicos y gerentes el principal vehículo humano para implementar la I4.0 en la región [20].

De acuerdo con información del Ayuntamiento de Tijuana, en Baja California se tienen registrados 92 Parques Industriales, de los cuales 42 se encuentran establecidos en el municipio de Tijuana. En 2011 se registraron cerca de 152 mil

empleos, correspondiendo el 37% al sector de la Electrónica; 17% a los Productos Médicos; 15% el sector Metalmecánico; 11% el sector Automotriz; mientras que los sectores Plásticos y Aeroespacial representaron el 10.8% y el 8% respectivamente [21].

Más recientemente, en 2017 se registró una actividad del sector manufacturero para el estado de Baja California, con Tijuana en primer lugar con un 62.6 %, seguido de Mexicali con un 22.9 %, Ensenada con un 8.4 %, Tecate con un 3.8 % y por último Playas de Rosarito, con un 2.3% [22]. Esta información económica permite visualizar la relevancia del sector manufacturero para la región, así como el contexto de trabajo en que se desempeña el recurso humano de las áreas de mantenimiento industrial.

En cuanto a la oferta educativa de formación profesional, en la región se ubican actualmente diversas instituciones de educación superior tanto públicas como privadas que ofertan programas educativos del área de ingeniería. La oferta educativa de estas instituciones se orienta a cubrir las necesidades de profesionales del contexto regional, nacional e internacional, como es la actualización de contenidos acordes al desarrollo tecnológico existente y la formación integral del capital humano. Sin embargo, se enfrentan al reto del incremento en los costos derivado de las nuevas tecnologías y el escaso financiamiento público, por lo que los programas de ingeniería resultarían cada vez más costosos [23].

### 3. Metodología

Se desarrolló el presente estudio de tipo mixto y alcance exploratorio, con el objetivo de identificar las necesidades de formación del personal técnico y de ingeniería de empresas locales en la región Tijuana-Tecate de Baja



California, para la realización de actividades de mantenimiento relacionadas a la I4.0.

En primer término, se realizó una revisión documental en bases de datos electrónicas de sitios académicos como Scopus, Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos (IEEE), y Google Scholar con respecto a las habilidades técnicas requeridas para desarrollar I4.0. Los términos de búsqueda empleados incluyeron “Industry 4.0” y “maintenance” y “skills” o “jobs”; en el título de artículos de revisión publicados en idiomas inglés y español para un rango de 2015 a la 2021. Con este método se obtuvieron 34 trabajos iniciales que cumplían con los criterios de búsqueda. Los trabajos identificados fueron analizados para determinar si cumplían además con la orientación a las capacidades y habilidades técnicas de las personas en el contexto de trabajo de la I4.0. A estos resultados siguió una búsqueda complementaria de algunos trabajos que eran citados por los seleccionados. De los artículos se extrajeron las tecnologías, los conocimientos y habilidades que son considerados relevantes a la función mantener en la Industria 4.0 y se incluyeron en la construcción del instrumento de recolección de datos aplicado a responsables de mantenimiento.

Posteriormente se realizaron entrevistas semiestructuradas a cinco miembros de la industria local, responsables de áreas de mantenimiento industrial. Los sectores en los cuales se ubican las empresas de los participantes corresponden a: *i*) mueblero (M), *ii*) biomédico (B), *iii*) automotriz (A), *iv*) metalmecánica (MM) y *v*) de generación de energía (E). Se eligieron estas empresas por considerarse que representan adecuadamente a las industrias que se ubican en la región, de acuerdo con la información estadística presentada. Fue aplicado mediante Google Forms durante 2021; contó con 18 ítems e indagó dimensiones como las tecnologías 4.0

empleadas en la empresa, la estrategia de mantenimiento, percepción sobre la disponibilidad local de personal cualificado, competencias que son requeridas de acuerdo con las actividades de la empresa, esquemas internos de formación y estrategias para la retención y desarrollo del personal.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1 El mantenimiento en la I4.0

En los ambientes tecnológicos modernos de la I4.0 se requiere de un alto nivel de confiabilidad del equipo y la planta, en lo cual el mantenimiento tiene un rol clave [13]. Por tanto, se le considera una de las áreas más importantes dentro de la industria de manufactura [6]. El mantenimiento se categoriza en distintos modelos conceptuales y operativos asociados con las políticas de la empresa: (i) correctivo o “run-to-failure”, (ii) preventivo, y (iii) predictivo. Actualmente, el mantenimiento industrial continúa siendo primordialmente correctivo y preventivo. Sin embargo, estas estrategias de mantenimiento no aprovechan la gran cantidad de datos que llegan a generarse en el piso de operaciones y que pueden estar disponibles a través de los sistemas informáticos de la empresa, con apoyo de tecnologías emergentes como IoT, Big Data, computo en la nube y analítica de datos [5].

La disponibilidad de herramientas digitales para la generación, recopilación y análisis de datos ha conducido a la transformación de los modelos tradicionales de mantenimiento en modelos predictivos [6] [7]. Los autores Busdekis et al consideran que las funciones de mantenimiento de tipo predictivo en la I4.0 incluyen la detección de anomalías, predicción de fallo y toma de decisiones sobre las acciones de mantenimiento [7]. El conjunto de acciones de detección, diagnóstico y pronóstico de tareas es conocido



como (Prognostics and Health Management o PHM) [1]. Esta técnica no solamente pronostica fallos futuros, sino que también observa la vida útil restante del equipo (Remaining Useful Life – RUL, por sus siglas en inglés) para la adecuada toma de decisiones [11]. El PHM es, junto al mantenimiento basado en condiciones (CBM), uno de los modelos de mantenimiento que han sido propuestos como resultado del empleo de estas tecnologías digitales [5] [4].

Por su parte, el CBM es una estrategia de mantenimiento predictivo que se emplea en plantas con procesos de manufactura automatizados [4], donde se busca mantener alta a la Eficiencia General de los Equipos (OEE). El uso de CBM en la I4.0 involucra tres etapas: monitoreo en tiempo real de condiciones, procesamiento de Big Data, determinación del tiempo de mantenimiento y su alcance [8]. Con ello, el intervalo de tiempo P-F se reduce hasta el punto de casi desaparecer gracias al acceso a la información en tiempo real y su consecuente análisis para extraer signos tempranos de fallo antes de que estos sean visibles a los humanos [7].

En general, el uso de componentes inteligentes con capacidad de autodiagnóstico y predicción de fallos se extiende dentro de la I4.0. Con ello se contribuye a la reducción de fallos y costos de operación, así como a la optimización de inventarios y la mejora de acceso al mantenimiento. Como se ha discutido, la I4.0 debe afrontar sistemas complejos y competitivos con seguridad, calidad, valor y costo mínimo. Por ello, el mantenimiento predictivo es un método de operación estratégico para asegurar la flexibilidad y evitar paros en las plantas inteligentes del futuro [6].

Mientras que las técnicas tradicionales de mantenimiento preventivo se enfocan en identificar y prevenir problemas futuros, el

mantenimiento predictivo (PdM) se aboca a la reducción de costos y prevención de fallas mediante la identificación exacta de las partes que son más probables de causar problemas, posibilitando así su reemplazo o reparación en el momento exacto [6]. El PdM recolecta datos de los procesos, pero también recoge aspectos físicos de la condición del equipo, como temperatura, presión, vibración, etc. Esta información se emplea para la identificación y detección temprana de fallos, y predicción de condición futura del equipo [8] [9].

Las tecnologías involucradas en el PdM pueden ser clasificadas en cinco categorías: sensores, redes, integración, inteligencia y comportamiento aumentados [8]. En esta integración de tecnologías el IoT es un pilar, ya que posibilita trasladar las acciones físicas de las maquinas en señales digitales. El IoT transmite continuamente los datos de los sensores y de otras fuentes, como los Controladores Lógicos Programables (PLC), terminales de los Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES), Sistemas Computarizados de Gestión de Mantenimiento (CMMS), o Sistemas de Planificación de Recursos Empresariales (ERP) [1].

Los sistemas de mantenimiento predictivo en la I4.0 conllevan una serie de retos para la gestión de la organización. Estos son clasificados por Bousdekis et al como organizacionales, tecnológicos y económicos. Entre ellos se cuentan la inversión económica, la estrategia digital de la empresa, el liderazgo, la estructura organizacional, la administración de proyectos y el desarrollo de las habilidades digitales de los ingenieros [7].

A pesar de sus ventajas, el mantenimiento predictivo tiene desventajas que comparte con el CBM, entre las que se cuenta el que requiere de un alto nivel de inversión de capital y experiencia para la instalación y operación de equipo de





monitoreo, bases de datos de larga escala y sistemas de procesamiento y análisis de datos, cuyo desarrollo aún se encuentra en su infancia [6] [13]. A la fecha, el enfoque se ha centrado en el desarrollo de hardware y software para realizar las funciones de monitoreo, procesamiento y análisis de datos de componentes. Sin embargo, la implementación del programa de PdM en toda la organización impacta a diversos sectores incluido el de personal. Se requiere contar con los trabajadores capacitados que emplearán dichos sistemas inteligentes, así como ingenieros que puedan analizar el Big Data de los procesos de mantenimiento. Por ello, a pesar de las ventajas que un sistema de PdM presenta dentro de la I4.0, esto no significa que dicho modelo sea siempre la mejor política de mantenimiento, sino que representa la posibilidad de definir el sistema de mantenimiento óptimo para cada componente [1].

#### ***4.2 Retos para el personal de mantenimiento en la I4.0***

La I4.0 tendrá un impacto significativo en el mercado laboral y la sociedad, debido a que las tecnologías emergentes, y en particular la digitalización que caracteriza a la I4.0 tienen un importante efecto en los trabajos y la educación de los profesionales. La escasez de una fuerza de trabajo con habilidades técnicas acordes a la I4.0 constituye uno de los principales retos para su implementación, junto a los requerimientos de reentrenamiento del personal existente para afrontar las nuevas condiciones del entorno de trabajo [24].

Para [3] solamente los empleados altamente educados tendrán la capacidad para controlar dichas tecnologías y podría incluso esperarse la desaparición de varias profesiones. Los requerimientos de las empresas en cuanto a habilidades y formación de los empleados se incrementarán en estas industrias, al ser un factor clave para el éxito de las empresas altamente

innovadoras. Los requisitos de un trabajo digitalizado se incrementan debido a que los procesos se interconectan y se vuelven más complejos, particularmente en la intersección de las esferas de actividad técnica, organizacional y social de los procesos de trabajo. Por ende, la gestión de tareas de profesionales interdisciplinarias, como desarrollo, puesta en servicio, operación o mantenimiento, requiere además de una fusión de las formas de organización tradicionales [9].

Es evidente que de entre las funciones que se llevan a cabo dentro de la industria, la que cuenta con el mayor grado de interacción con las tecnologías empleadas, su operación y sostenimiento, es la de mantenimiento. El personal que labora en estas áreas requiere poseer conocimientos técnicos, de seguridad, organización y administración. Es por ello por lo que estos puestos de trabajo son los primeros que tendrán necesidad de desarrollar nuevas competencias y adaptarse al escenario de la I4.0.

Así, el perfil profesional habitualmente asociado a las áreas de mantenimiento (ingeniería mecánica, eléctrica, electromecánica y mecatrónica) tenderá a complementarse con habilidades asociadas actualmente a perfiles de las de tecnologías de la información, como ingenieros de software, especialistas en informática, programadores de PLC y robots, analistas de datos y especialistas en ciberseguridad [3].

#### ***4.3 La postura de los responsables de mantenimiento de la industria local***

Se realizó entrevista semiestructurada a cinco responsables de actividades de mantenimiento en la industria local, del sector mueblero (M), biomédico (B), automotriz (A), metalmecánica (MM) y de generación de energía (E). Los cinco participantes pertenecen al sexo masculino y



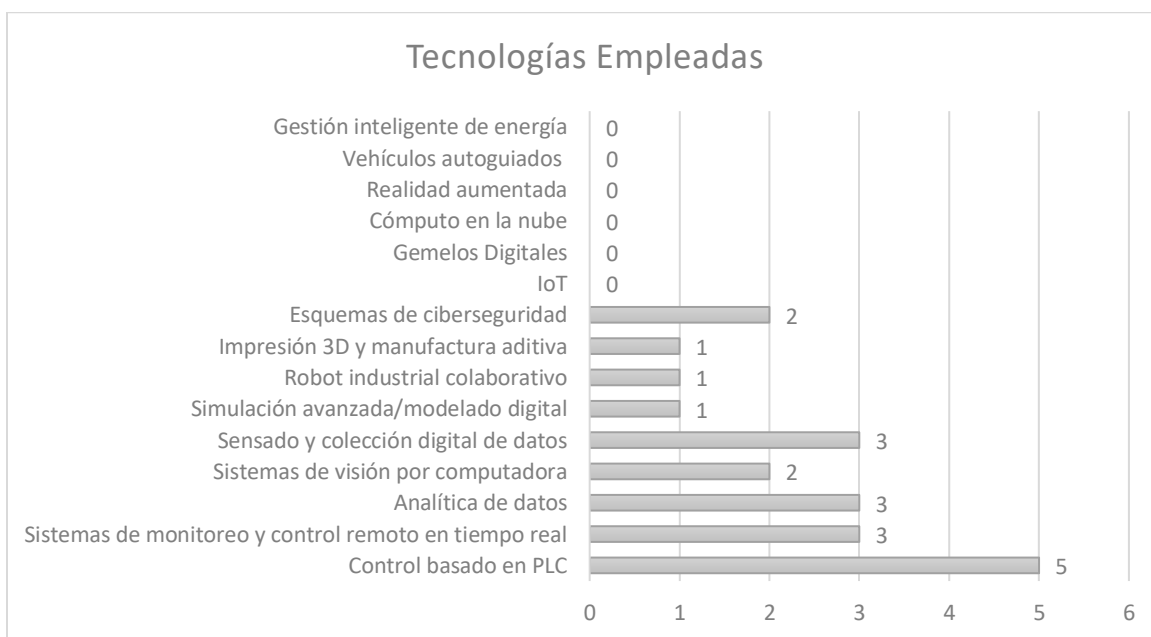
tienen una edad promedio de 43 años. Todos ellos cuentan con estudios profesionales concluidos en el área de ingeniería, siendo estos Ingeniero en Mecatrónica (n=1), Ingeniero Eléctrico (n=1), Ingeniero en Electrónica (n=1) e Ingeniero Mecánico Electricista (n=2).

Los participantes tienen en promedio cinco años de antigüedad en su puesto y todos tienen personal técnico a su cargo, entre ingenieros y técnicos. Se les cuestionó sobre cuál es el modelo de mantenimiento seguido por la empresa en la que laboran. Sus respuestas indican que se emplea el mantenimiento preventivo-programado (B, MM y E), mantenimiento productivo total (M) y mantenimiento basado en la confiabilidad (A).

A su vez, el sistema de gestión de mantenimiento que emplean para la planificación y seguimiento de tareas corresponde a: un desarrollo

informático propio (A, MM), sistema informático comercial (B, E) y a formatos y registros en papel (M). Los sistemas comerciales reportados fueron identificados como PMC2000 y SAP ERP software.

En cuanto a las tecnologías empleadas actualmente en la empresa, se les proporcionó un listado generado a partir de la revisión documental y se preguntó “¿cuáles emplea actualmente la empresa?”. La Figura 1 da muestra de las respuestas, siendo las más comunes el Control basado en PLC, seguido por el sensado y colección digital de datos, los sistemas de monitoreo y control remoto en tiempo real, y la analítica de datos. Por el contrario, los entrevistados indican que actualmente no se emplean en sus empresas el IoT, gemelos digitales, cómputo en la nube, realidad aumentada, vehículos autoguiados ni la gestión inteligente de energía.



**Figura 1.** Tecnologías empleadas por las empresas entrevistadas. El orden de presentación corresponde a la frecuencia de mención obtenida en las respuestas. Fuente: Elaboración propia a partir de las respuestas proporcionadas por los entrevistados.

En cuanto a la disponibilidad de personal calificado, se realizó la pregunta: *en los últimos*

*tres años, ¿ha tenido la necesidad de contratar nuevo personal técnico debido a la*



*incorporación de nuevas tecnologías en la empresa?* Dos entrevistados señalan que sí debieron contratar nuevo personal técnico debido a la incorporación de nuevas tecnologías en la empresa. A pesar de ello, quienes contrataron señalan que no tuvieron problemas para ubicar al personal que cubriera el perfil requerido.

Al preguntarles sobre cuáles fueron los conocimientos requeridos en las últimas contrataciones, en una de las empresas que sí contrataron no correspondía a conocimientos especializados sino a conocimientos base de la ingeniería en temas como la neumática, hidráulica, control, programación, etc. Por el contrario, la empresa de energía requirió realizar la contratación de personal con conocimiento especializado en una plataforma de turbina eólica.

En cuanto a los programas de capacitación del personal técnico, tres empresas reportan haber capacitado a su personal en los últimos tres años. Los temas en que se han formado han sido temas generales de ingeniería, en robótica y para la

transferencia de líneas de producción de otros países. Todas las capacitaciones fueron realizadas internamente por la empresa, excepto la capacitación en robótica para la cual la empresa contrató un servicio externo.

Se indagó también sobre las habilidades y conocimientos más valorados por los entrevistados en la contratación y promoción del personal de mantenimiento. Se le proporcionó a los entrevistados un listado, obtenido a partir de la revisión documental sobre tendencias laborales, y se les preguntó “*cuáles son los más valorados en la contratación y promoción de su personal técnico*”. Con una escala Likert de 4 puntos (1 = Nada importante, 2 = Poco Importante, 3 = Moderadamente importante, 4 = Muy importante) se presentan en la Tabla 1 los resultados promedio obtenidos. Se observa como aspectos generales como los conocimientos sobre mecánica y electrónica, junto a la lectura de sus diagramas y las habilidades de comunicación son los más valorados por los entrevistados en las funciones de mantenimiento.

**Tabla 1.** Valoración de las habilidades y conocimientos requeridos en el personal de Mantenimiento

Habilidades y Conocimientos	Valoración Promedio
Habilidades de comunicación oral y escrita	3.8
Pensamiento crítico	3.4
Inteligencia emocional y Resiliencia	3.4
Conocimiento técnico general en mecánica y electrónica	3.8
Solución de problemas	3.6
Idioma inglés	3.4
Lenguajes de programación	3.2
Liderazgo y trabajo en equipo	3.6
Lectura de diagramas mecánicos, eléctricos y neumáticos	3.8
Manejo de equipo de metalmecánica	3.4
Diseño mecánico en 3D	3
Instrumentación electrónica	3.6





Por lo que respecta a la pérdida de personal cualificado por rotación, cuatro de los cinco entrevistados mencionan haberla padecido y solamente uno de ellos responde que no la han experimentado. Las estrategias que se siguen en sus empresas para evitar la pérdida de talento humano por rotación incluyen la promoción, aumento de sueldo, bonos y capacitación interna tanto en aspectos técnicos como en valores corporativos.

De lo anterior se desprende que los entrevistados manifiestan una satisfacción moderada con relación a las capacidades técnicas del personal a su cargo y que esto no han sido un factor negativo hasta ahora. Sin embargo, entre los comentarios vertidos por los participantes se ha mencionado la necesidad de cambiar la mentalidad del personal para que desarrollen mayor iniciativa, responsabilidad, autoformación y mentalidad de mejora continua.

En términos generales, puede verse que las tecnologías empleadas por las empresas locales observadas en el estudio corresponden poco a las identificadas con la I4.0. Los esquemas de formación actuales han podido responder hasta el momento de manera general a los requerimientos del sector manufacturero local. Asimismo, la oferta de empleo en la región ha sido tal que la rotación se encuentra presente en la mayoría de las empresas, con un índice de rotación de personal directo del 7.6% en promedio [25]. De las empresas entrevistadas, 4 de 5 indican haber perdido personal por rotación en últimos tres años. Ante la pregunta “¿qué estrategias sigue la empresa para evitar esta pérdida de talento humano?”, se observa que las estrategias de retención de las empresas son tradicionales ya que se centran en la remuneración económica del trabajador con bonos, aumento de sueldo y promoción.

En cuanto al modelo de mantenimiento implementado, puede observarse que el preventivo es usado en la mayoría de las empresas. El mantenimiento predictivo, característico de la I4.0, no es empleado por ninguna de las empresas entrevistadas. Esto último se asocia al tipo de tecnologías empleadas y, como ha sido mencionado, a la alta inversión económica que involucra el establecimiento de este tipo de industria.

Los resultados apuntan además a la falta de colaboración entre el sector educativo y las necesidades de capacitación y actualización del área de mantenimiento de la industria de manufactura local. De igual forma, se revela una oportunidad para incrementar la colaboración ya que los esquemas de formación a los cuales recurren las empresas no establecen vinculaciones con las instituciones educativas. Por el contrario, las capacitaciones continúan siendo internas lo cual limita la innovación estratégica y el desarrollo de I4.0 al centrarse en prácticas puntuales. Las sinergias requeridas para el desarrollo de I4.0 continúan siendo un área de oportunidad para el sector manufacturero local.

#### 4. Conclusiones

El desarrollo de Industria 4.0 involucran diversas dimensiones adicionales a la tecnológica. El factor humano no ha sido considerado lo suficiente en las investigaciones sobre desarrollo de I4.0, ya que el foco se ha centrado en las posibilidades técnicas del trabajador sin considerar su experiencia global a profundidad, incluyendo el ambiente tecnológico, organizacional, procedimental y psicosocial [26]. Adicionalmente, otros aspectos relevantes van surgiendo gradualmente, con relación a la protección al medio ambiente y la seguridad en las operaciones [13], incluyendo la salud y seguridad ocupacional (occupational health and safety -OHS por sus siglas en inglés) [27].



Se prevé que la integración de nuevas tecnologías en las organizaciones generará problemáticas relacionadas con la insuficiente experiencia de los trabajadores y las curvas de aprendizaje, la selección y reclutamiento de nuevo personal, así como también con el aprendizaje de la fuerza laboral que envejece. Estas problemáticas impactarían particularmente al personal que se encuentra directamente a cargo de operaciones como el mantenimiento de equipo. Al momento se han generado pautas generales sobre las habilidades y conocimientos del personal en la I4.0, pero son necesarios más estudios interdisciplinarios sobre la optimización de la integración del trabajo humano con los equipos inteligentes [27].

En lo que respecta a la industria de manufactura local y las necesidades de formación del personal de mantenimiento, de acuerdo con lo observado éstas continúan centrándose en los conocimientos básicos de ingeniería. La tecnología de Industria 4.0 no ha alcanzado localmente una penetración que genere disrupciones en los métodos de trabajo o los esquemas de contratación y promoción. Aun así, existe una amplia área de oportunidad para el diagnóstico de necesidades y el impulso de estrategias en vinculación con el sector educativo, que permitan generar condiciones para la competitividad técnica del sector.

Por otra parte, entre las limitaciones del estudio se encuentra en primer término el alcance de los resultados, por lo que resulta aconsejable realizar un estudio descriptivo ampliando la muestra de empresas locales. En segundo término, los avances en los métodos y tecnologías que sustentan los programas de mantenimiento predictivo y que actualmente se encuentran en su etapa inicial, por lo que se prevé producirán cambios en las dinámicas de la organización. Derivado de lo anterior, se propone realizar trabajo futuro para ampliar los resultados y

construir una matriz de competencias asociadas a los esquemas de mantenimiento predictivo. A partir de dicho trabajo las instituciones educativas, particularmente las de educación superior, podrían abordar este segmento de usuarios potenciales para que cumplan con las funciones de reentrenamiento, capacitación y actualización del personal de la industria de manufactura. Adicionalmente, se plantea a la certificación de competencias técnicas, en conjunto con los sistemas nacionales de reconocimiento a credenciales, como una propuesta que aportara competitividad al sector.

## 5. Agradecimiento

Agradecemos a los responsables de mantenimiento de empresas locales quienes amablemente compartieron su tiempo y experiencia para la realización del presente trabajo.

## 6. Agradecimiento de autoría

*Patricia Avitia Carlos:* Conceptualización; Ideas; Metodología; Escritura del borrador original y Administración del Proyecto; *Alex Bernardo Pimentel Mendoza:* Metodología; Investigación; Escritura: revisión y edición; *José Luis Rodríguez Verduzco:* Investigación; Análisis formal; Escritura: revisión y edición; *Bernabé Rodríguez Tapia:* Investigación; Análisis formal; Escritura: revisión y edición.

## Referencias

- [1] M. Compare, P. Baraldi and E. Zio, "Challenges to IoT-enabled Predictive Maintenance for Industry 4.0," IEEE Internet of Things Journal, pp. 1-13, 2019. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2957029>
- [2] Y. Lu, "Industry 4.0: A survey of technologies, applications and open research issues," Journal of Industrial Information Integration, pp. 1-10, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>



- [3] A. Benešová and J. Tupa, "Requirements for Education and Qualification of People in Industry 4.0," *Procedia Manufacturing*, p. 2195 - 2202, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.366>
- [4] E. Jantunen, P. Sharma, J. Campos and D. Baglee, "Digitalization of Maintenance," in 2nd International Conference on System Reliability and Safety, Chengdu, China, 2017. <https://doi.org/10.1109/ICSRS.2017.8272846>
- [5] P. Poor, J. Basl and D. Zenisek, "Predictive Maintenance 4.0 as next evolution step in industrial maintenance development," in International Research Conference on Smart Computing and Systems Engineering (SCSE), Sri Lanka, 2019. <https://doi.org/10.23919/SCSE.2019.8842659>
- [6] T. Zheng, M. Ardolino, A. Bacchetti and M. Perona, "The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review," *International Journal of Production Research*, vol. 59, no. 6, pp. 1922-1954, 2021. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>
- [7] J. M. Müller, "Business model innovation in small- and medium-sized enterprises," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 30, no. 8, pp. 1127-1142, 2019. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2018-0008>
- [8] J. W. Veile and D. Kiel, "Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 31, no. 5, pp. 977-997, 2020. <https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0270>
- [9] "A new dynamic predictive maintenance framework using deep learning for failure prognostics," *Reliability Engineering and System Safety*, no. 188, pp. 251-262, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.res.2019.03.018>
- [10] "Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies," *International Journal of Production Economics*, no. 210, pp. 15-26, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>
- [11] S. Ayad, L. S. Terrissa and N. Zerhouni, "An IoT Approach for Smart Maintenance," in International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC\_ASET), Túnez, 2018. <https://doi.org/10.1109/ASET.2018.8379861>
- [12] D. Pal, J. Vain, S. Srinivasan and S. Ramaswamy, "Model-based maintenance scheduling in flexible modular automation systems," in 2017 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2017. <https://doi.org/10.1109/ETFA.2017.8247738>
- [13] D. TRAN ANH, K. DĄBROWSKI and K. SKRZYPEK, "The predictive maintenance concept in the maintenance department," *Foundations of Management*, vol. 10, 2010.
- [14] S. Gallego García and M. García García, "Industry 4.0 implications in production and maintenance management: An overview," in 8th Manufacturing Engineering Society International Conference, Madrid, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.09.027>
- [15] T. Zonta, C. A. da Costa, R. da Rosa Righi, M. J. de Lima, E. S. da Trindade and G. Pyng Li, "Predictive maintenance in the industry 4.0: A systematic literature review," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 150, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889>
- [16] M. D. Nardo, M. Madonna, P. Addonizio and M. Gallab, "A mapping analysis of maintenance in Industry 4.0," *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 19, pp. 653-675, 2021. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2021.19.6.1460>
- [17] "Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review," *Computers in Industry*, no. 123, pp. 1-16, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103335>
- [18] G. Di Bona, V. Cesarotti, G. Arcese and T. Gallo, "Implementation of Industry 4.0 technology: new opportunities and challenges for maintenance strategy," in International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.258>
- [19] L. A. González Torres, M. A. Ibarra Cisneros and K. E. Cervantes Collado, "El impacto de las tecnologías de la información y comunicación en la industria manufacturera de Baja California," *Región y sociedad*, pp. 153-183, 2017. <https://doi.org/10.22198/rys.2017.69.a292>
- [20] J. Carrillo, R. Gomis, S. De los Santos, L. Covarrubias and M. Matus, "¿Podrán transitar los ingenieros a la Industria 4.0? Análisis industrial en Baja California," *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*,



vol. 22, no. 8, pp. 1-22, 2020.  
<https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.76089>

[21] IMPLAN, "Parques Industriales," Sociedad en Movimiento, no. XI, pp. 1-5, Julio-septiembre 2014.

[22] A. Reyes Mendoza, M. d. I. Á. Silva-Olvera and K. Ramírez Barón, "Liderazgo emprendedor y la innovación en empresas manufactureras de Tecate, B.C., México," VinculaTégica, pp. 267-273, 2018.

[23] Universidad Autónoma de Baja California, "Evaluación externa e interna del Programa Educativo Ingeniero en Mecatrónica," Mexicali, 2018.

[24] D. Horváth and R. Z. Szabó, "Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?" Technological Forecasting & Social Change, no. 146, pp. 119-132, 2019.  
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>

[25] Monitor Económico, "Monitor Económico de Baja California," 2022. [Online]. Available: <https://monitoreconomico.org/noticias/2022/may/05/alta-rotacion-en-empresas-de-baja-california-arhitac/>. [Accessed 2022].

[26] "Industry 4.0 and the human factor - A systems framework and analysis methodology for successful development," International Journal of Production Economics, no. 233, pp. 1-16, 2021.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107992>

[27] S. M. Lee, D. Lee and Y. S. Kim, "The quality management ecosystem for predictive maintenance in the industry 4.0 era," International Journal of Quality Innovation, pp. 1-11, 2019.  
<https://doi.org/10.1186/s40887-019-0029-5>

[28] Z. M. Çınar, A. A. Nuhu, Q. Zeeshan, O. Korhan, M. Asmael and B. Safaei, "Machine Learning in Predictive Maintenance towards Sustainable Smart Manufacturing in Industry 4.0," Sustainability, pp. 1-42, 2020.  
<https://doi.org/10.3390/su12198211>

[29] A. Bousdekis, D. Apostolou and G. Mentzas, "Predictive Maintenance in the 4th Industrial Revolution: Benefits, Business Opportunities and Managerial Implications," IEEE Engineering Management Review, 2019. <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2958037>

[30] A. Cachada, J. Barbosa, P. Leitão, C. A. S. Gerales, L. Deusdado, J. Costa, C. Teixeira, J. Teixeira, A. H. Moreira, P. M. Moreira and L. Romero, "Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture," in 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), Torino, Italy, 2018.  
<https://doi.org/10.1109/ETFA.2018.8502489>

[31] J. Gebhardt, A. Grimm and L. M. Neugebauer, "Developments 4.0 Prospects on future requirements and impacts on work and vocational education," Journal of Technical Education (JOTED), pp. 117-133, 2015.  
<https://doi.org/10.48513/joted.v3i2.58>

Derechos de Autor © Patricia Avitia-Carlos, Alex Bernardo Pimentel-Mendoza, José Luis Rodríguez-Verduzco, Bernabé Rodríguez-Tapia



Este texto está protegido por una licencia [Creative Commons 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir —copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato— y adaptar el documento —remezclar, transformar y crear a partir del material— para cualquier propósito, incluso para fines comerciales, siempre que cumpla la condición de:

Atribución: Usted debe dar crédito a la obra original de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace de la obra.

[Resumen de licencia](#) - [Texto completo de la licencia](#)