



GENERALITAT
VALENCIANA

IVACE+i
INSTITUTO VALENCIANO
DE COMPETITIVIDAD E INNOVACION



Financiado por
la Unión Europea



agrupación innovadora
Valmetal

Oportunidades de las empresas del sector metal en relación con las tecnologías de fabricación avanzada

Diciembre 2024

Contenido

0	Contexto	2
1	Fabricación Avanzada. Principales tecnologías aplicables en el sector metal.....	4
1.1.	Manufactura Inteligente y Conectividad Industrial.....	4
1.2.	Inteligencia Artificial y Análisis de Datos	4
1.3.	Automatización Inteligente y Robótica Avanzada	5
1.4.	Interfaces Hombre-Máquina y Realidad Extendida	5
1.5.	Métodos Avanzados de Fabricación y Control de Procesos	5
2	Detección de necesidades y retos actuales	7
2.1.	Retos inducidos por el contexto macroeconómico actual	7
2.2.	Retos y necesidades tecnológicas a escala sectorial.....	8
2.3.	Identificación de cuellos de botella	10
3	Conclusiones y recomendaciones.....	12
3.1.	Sinergias debidas a la combinación exitosa de tecnologías de fabricación avanzada.....	13
3.2.	Recomendaciones tecnológicas específicas de carácter previo a la implantación de tecnologías de fabricación avanzada	13
4	Fuentes y Bibliografía	16

0 Contexto

El sector del metal –o ecosistema del metal– va mucho más allá de la "fabricación de bienes/productos metálicos" y se entrelaza fuertemente con otros sectores/actividades de los que es el principal proveedor, creando así una cadena de valor muy compleja y extendida. La identificación de las necesidades de este ecosistema debe tener en cuenta estas actividades, cada una de las cuales desempeña un papel vital en la economía en términos de empleo y valor añadido:

- Los sectores de la **maquinaria y la ingeniería** son esenciales para apoyar las actividades industriales, contribuyendo significativamente a la innovación tecnológica y a la estabilidad económica.
- El sector del **automóvil** es un sector profundamente interconectado con varias actividades posteriores, lo que crea un efecto multiplicador sustancial en toda la economía que hace que sea clave tanto por puestos de trabajo creados como por el porcentaje del PIB que representa.
- El ámbito de la **construcción e infraestructuras** es uno de los principales consumidores de productos metálicos, como el acero, el cobre y el aluminio. Los productos metálicos son esenciales en la propia construcción y además en elementos interiores como tuberías, sistemas eléctricos o carpintería metálica, contribuyendo a la urbanización sostenible y a los proyectos de resiliencia.
- El sector **aeroespacial y de defensa** también depende en gran medida de componentes metálicos avanzados, particularmente materiales livianos y de alta resistencia. Este sector contribuye significativamente al empleo y la innovación en alta tecnología.
- Los metales son indispensables en el sector de la **electrónica, microelectrónica y el equipamiento**, especialmente para materiales conductores como el cobre y el aluminio. El sector de la electrónica / microelectrónica, especialmente en el contexto europeo tiene importantes efectos posteriores en industrias como las telecomunicaciones, la tecnología médica y las energías renovables.
- A medida que Europa avanza hacia su transición ecológica, la demanda de metales en las infraestructuras de **energías renovables** sigue aumentando, lo que refuerza la importancia de una cadena de suministro de metales resiliente y sostenible.
- El **sector médico** depende en gran medida de la fabricación avanzada de metales para producir instrumentos de precisión, implantes y herramientas quirúrgicas. Los metales como el titanio, el acero inoxidable y las aleaciones de cobalto-cromo son indispensables para crear componentes biocompatibles y duraderos

para aplicaciones médicas. Los recientes avances en la fabricación aditiva (impresión 3D) han revolucionado aún más este sector al permitir la producción de implantes e instrumentos adaptados a cada paciente. La demanda de dispositivos y equipos médicos innovadores, impulsada por el envejecimiento de la población y los avances en la tecnología sanitaria, subraya el papel del ecosistema del metal en el apoyo al crecimiento y la innovación del sector médico.

Por ello, la **transversalidad del sector metal** y sus conexiones con los distintos ámbitos mencionados subrayan su importancia estratégica para la estabilidad económica, el crecimiento industrial y los objetivos de sostenibilidad.

En este sentido, la **eficiencia** de los procesos de producción del sector metalmecánico tiene, como consecuencia, un impacto muy importante en el conjunto de la economía, la sociedad y el medio ambiente. Por ello, resulta crítico poner el foco en la incorporación de nuevas tecnologías, habilitadores, protocolos, procesos, estándares, etc. que permitan elevar el grado de eficiencia en los procesos, en términos **de costes, precisión, tiempos de producción, seguridad, interacción humano-máquina, sostenibilidad, desperdicio generado, etc.** El conjunto de tecnologías, factores o tendencias aplicadas para conseguir esta finalidad se conoce como **fabricación avanzada**.

Es importante destacar **que los datos son el “combustible”** fundamental para las tecnologías de fabricación avanzada de verdad puedan transformar la industria, convirtiéndose así en habilitadores tecnológicos potentes y que supongan un incremento diferencial en la competitividad del sector. En este sentido, la base de la fabricación avanzada es la digitalización. El entorno empresarial de la CV cuenta con empresas de desarrollo SW para el ámbito industrial que también pertenecen al sector metal.

VALMETAL, como clúster del sector metalmecánico valenciano, actúa como un catalizador clave para dinamizar la actividad empresarial, impulsando la innovación, la adopción y el desarrollo de tecnología y la competitividad entre sus empresas asociadas. Este informe tiene como objetivo analizar y difundir las oportunidades más relevantes para las empresas del sector metal exploradas por los **agentes de innovación** de VALMETAL en relación con las tecnologías de fabricación avanzada.

1 Fabricación Avanzada. Principales tecnologías aplicables en el sector metal

La fabricación avanzada en el sector del metal abarca un conjunto de tecnologías que permiten aumentar la precisión, la eficiencia y la flexibilidad en los procesos productivos. Con la **Industria 4.0 y la digitalización**, la integración de sistemas inteligentes ha revolucionado la manufactura, facilitando la automatización, la interconexión de equipos y la toma de decisiones basada en datos en tiempo real. A continuación, se presentan las principales tecnologías aplicadas en este ámbito.

1.1. Manufactura Inteligente y Conectividad Industrial

El **Internet Industrial de las Cosas (IIoT)** es un pilar fundamental en la fabricación avanzada, permitiendo la interconexión de máquinas, sensores y software para recopilar y analizar datos en tiempo real. Esto facilita el mantenimiento predictivo, la optimización de procesos y la trazabilidad de la producción. Gracias a la conectividad en la nube y la integración con **sistemas ciberfísicos (CPS)**, es posible gestionar fábricas inteligentes donde las decisiones se toman de forma autónoma o asistida por inteligencia artificial.

El avance en **redes de comunicación industrial**, como **5G y protocolos industriales avanzados (OPC UA, MQTT, TSN)**, permite reducir la latencia y mejorar la comunicación en entornos de producción. Esto es clave en aplicaciones donde la sincronización precisa de máquinas y robots es crucial.

1.2. Inteligencia Artificial y Análisis de Datos

Los algoritmos de **aprendizaje automático (Machine Learning)** están transformando la manufactura al optimizar la configuración de máquinas, predecir fallos y mejorar el control de calidad. En mecanizados complejos como el **CNC (Computer Numerical Control)** o el **EDM (Electrical Discharge Machining)**, la IA permite ajustar automáticamente parámetros como velocidad de corte, profundidad de pasada o condiciones de refrigeración en función del material y el desgaste de la herramienta.

Además, la **visión artificial**, mediante sistemas de inspección basados en redes neuronales, está revolucionando el control de calidad al detectar defectos con mayor precisión que los métodos tradicionales. Integrado con **Big Data**, esto permite un análisis profundo de la variabilidad en la producción y la identificación de patrones que optimizan los procesos.

1.3. Automatización Inteligente y Robótica Avanzada

La robótica industrial ha evolucionado con la incorporación de **robots colaborativos (cobots)**, que pueden trabajar junto al personal de planta sin necesidad de vallas de seguridad. Estos robots, equipados con sistemas de IA y sensores de fuerza, permiten tareas como el pulido, el ensamblaje o la manipulación de piezas metálicas con alta precisión.

El **control adaptativo en máquinas-herramienta**, basado en sensores de fuerza y acelerómetros, permite ajustar los parámetros de mecanizado en función de la resistencia del material o el estado de la herramienta, reduciendo el desperdicio y el tiempo de inactividad.

Por otro lado, los **sistemas de fabricación aditiva (impresión 3D metálica)** están cobrando relevancia, especialmente en sectores como el aeroespacial y la automoción, donde la optimización topológica y la reducción de peso de los componentes son aspectos críticos. Tecnologías como **SLM (Selective Laser Melting)** y **EBM (Electron Beam Melting)** permiten fabricar geometrías complejas imposibles de obtener mediante métodos tradicionales.

1.4. Interfaces Hombre-Máquina y Realidad Extendida

La forma en que el personal de planta interactúa con las máquinas está cambiando gracias a las **interfaces avanzadas HMI (Human-Machine Interface)** y al **control mediante lenguaje natural**. Sistemas basados en procesamiento del lenguaje permiten que las personas trabajadoras configuren máquinas mediante comandos de voz o texto, reduciendo la curva de aprendizaje y los errores de operación.

La **realidad aumentada (AR)** y la **realidad mixta (MR)** están facilitando la formación, el mantenimiento y la asistencia remota en fábricas. Con gafas inteligentes o dispositivos móviles, los operarios pueden visualizar instrucciones superpuestas sobre una máquina, recibir asistencia remota en tiempo real o inspeccionar una pieza sin necesidad de contacto físico.

1.5. Métodos Avanzados de Fabricación y Control de Procesos

Las tecnologías de **mecanizado de alta precisión**, como el **EDM de microelectroerosión** o el **mecanizado por ultrasonidos**, permiten trabajar con materiales extremadamente duros o frágiles manteniendo tolerancias micrométricas. Estas técnicas son esenciales en la fabricación de moldes, componentes electrónicos y piezas de alto valor añadido.

En el ámbito del control de procesos, los **gemelos digitales (*Digital Twins*)** se han convertido en herramientas clave para simular y optimizar la producción en entornos virtuales antes de implementarla en el mundo real. Con modelos basados en datos reales de sensores y análisis predictivos, es posible anticipar problemas, mejorar la eficiencia y personalizar la fabricación según las necesidades del cliente.

2 Detección de necesidades y retos actuales

2.1. Retos inducidos por el contexto macroeconómico actual

El sector metal valenciano se enfrenta, desde el punto de vista productivo, a retos que determinarán su competitividad, sostenibilidad y resiliencia en los próximos años. Algunos de estos retos provienen de la situación geopolítica, y afectan a la UE en su conjunto y por tanto a la *Comunitat Valenciana*:

- El sector y sus actividades conexas se caracterizan por su gran dependencia de procesos de gran consumo energético, y el **aumento de los costos de la energía** está impactando en su viabilidad.
- La exposición a la **volatilidad de los precios de las materias primas** y la dependencia de la importación de estas desde fuera de la UE.
- Algunos planteamientos tecnológicos se arrastran desde los años 80 y traen consigo con una productividad subóptima y son hoy en día un lastre para las empresas menos saneadas en capital (en su mayoría PYMES). Estos **planteamientos industriales obsoletos** dificultan la adopción de soluciones de fabricación avanzada y el mantenimiento de la competitividad en un mercado global en rápida evolución y hace que los niveles de rentabilidad de la actividad productiva del conjunto de la UE estén por debajo de los de otras zonas macroeconómicas.
- Las **disparidades tecnológicas** entre las regiones de la UE crean unas condiciones de competencia desiguales, en las que las zonas menos desarrolladas tienen dificultades para seguir el ritmo de la adopción de nuevas tecnologías y prácticas. Esta disparidad crea **cadena de valor fragmentadas, frágiles y altamente dependientes, vulnerables a las perturbaciones externas**. También, como consecuencia incrementa las **disparidades económicas** entre regiones, lo que limita el potencial de crecimiento del sector manufacturero.

La doble **transición hacia prácticas de fabricación sostenibles y digitales** es fundamental para abordar estos desafíos, que también exigen las demandas urgentes de la sociedad para reducir la huella ambiental de las actividades industriales. Sin embargo, las necesidades anteriores, además de los marcos regulatorios restrictivos, hacen que este sector no sea tan ágil, innovador y dinámico como podría llegar a ser.

2.2. Retos y necesidades tecnológicas a escala sectorial

Para cada una de las diferentes actividades industriales y de servicios que componen la **cadena de valor extendida del metal**, expuesta anteriormente, se identifican retos y necesidades técnicas específicas en el ámbito de la **fabricación avanzada**:

- **Maquinaria:** Las necesidades clave para este sector incluyen la adopción de tecnologías de fabricación avanzadas, como la robótica y la fabricación aditiva, y su combinación con el mecanizado CNC y otras tecnologías de producción conocidas para aumentar la flexibilidad, la precisión y la productividad. Además, la integración de herramientas digitales como el Internet industrial de las cosas (IIoT) y el mantenimiento predictivo, junto con innovaciones en materiales y diseños energéticamente eficientes, es esencial para la sostenibilidad y la competitividad global.
- **Automoción:** la producción de grandes volúmenes, la precisión de sus componentes, la integración continua de nuevas soluciones y unos márgenes de competitividad muy estrechos exigen tecnologías innovadoras muy flexibles, como sistemas robóticos avanzados, automatización y sistemas de control de calidad sin defectos.
- **Construcción e infraestructuras:** Las actividades manuales muy intensivas en este sector requieren sistemas avanzados de automatización (incluyendo mecanizados CNC a medida para grandes formatos y/o materiales no convencionales). La construcción también está en el punto de mira como uno de los sectores con una huella preocupante, por lo que se necesitan tecnologías de producción más eficientes en el uso de los recursos.
- **Aeroespacial:** se espera que el uso de sistemas de mecanizado y soldadura asistidos por robots más precisos y altamente flexibles, los diseños y el control de producción respaldados por IA, así como la fabricación aditiva para piezas personalizadas y geometrías complejas, respondan a la producción compleja y de lotes bajos en esta actividad.
- **Electrónica:** Las inversiones en materiales sostenibles y técnicas de fabricación avanzadas en este sector apoyan el desarrollo de tecnologías ecológicas críticas.
- **Energía:** El IIoT para la monitorización de la producción, junto con los sensores avanzados y el mantenimiento predictivo, son factores clave para la competitividad de este sector.
- **Medicina:** requiere procesos de fabricación especiales, tanto por las formas complejas como por los materiales biocompatibles especiales. La fabricación aditiva está abriendo una ventana para satisfacer la creciente demanda de dispositivos médicos personalizados, pero por lo general deben combinarse con

Mecanizado CNC y EDM flexibles. Además, el sector necesita sistemas de control de calidad sólidos y métodos de producción que cumplan con la normativa para garantizar la seguridad, la fiabilidad y la alineación con los estrictos estándares sanitarios.

2.3. Identificación de cuellos de botella

Las necesidades anteriores apuntan a que la competitividad de la industria del metal se ve especialmente limitada por algunos cuellos de botella:

2.3.1. Falta de adopción de tecnología

El sector requiere **apoyo para la adopción de tecnologías de fabricación** avanzadas, especialmente entre las PYMES, para impulsar la productividad, la competitividad y la sostenibilidad. Existen multitud de soluciones y tecnologías desarrolladas en el ámbito de la fabricación avanzada y que podrían potenciar la competitividad del sector. Sin embargo, la mayoría de estas soluciones se quedan **estancadas en TRL's intermedios** que no alcanzan las fases de industrialización o escalado.

Por otra parte, una de las consecuencias de la evolución tecnológica acelerada es que, frecuentemente, las operaciones industriales actuales se caracterizan por la coexistencia de tecnologías, dispositivos y sistemas con protocolos de comunicación diversos que evolucionan de forma muy rápida y que, a la vez, **requieren de grandes inversiones** para su implantación. Esto dificulta su integración y gestión eficientes, generando en ocasiones procesos operativos subóptimos y redundancias que impactan negativamente en los costes y en la competitividad de la industria. Muchas empresas aún dependen de sistemas obsoletos que no se integran eficazmente con los sistemas más novedosos, limitando su potencial de digitalización y automatización.

A esta problemática hay que añadir que el **marco regulatorio es cada vez más exigente** y demanda estándares más estrictos en materia de seguridad laboral y sostenibilidad ambiental. Al mismo tiempo y, como contrapartida, hay disponible una serie diversa de habilitadores tecnológicos que es necesario explorar y adaptar convenientemente para tratar de lograr un impacto positivo gracias a su incorporación en los procesos.

2.3.2. Falta de mano de obra cualificada

Existe una necesidad crítica de programas de capacitación específicos para capacitar a la fuerza laboral con las habilidades necesarias para comprender, adoptar y utilizar soluciones de fabricación avanzadas de manera efectiva.

2.3.3. Insuficiente colaboración interregional

Es necesaria una mayor colaboración entre las regiones para garantizar un desarrollo equilibrado y una distribución equitativa de los avances tecnológicos. Aún más, la falta de una planificación estratégica en la explotación (vulnerabilidad de los derechos de propiedad intelectual) dificulta la difusión y comercialización de soluciones exitosas, por

lo que es necesario comprender mejor el uso de las cifras de protección de los derechos de propiedad intelectual y la planificación estratégica de la explotación para alinear la difusión, la protección y la explotación segura.

2.3.4. Integración de la sostenibilidad

El sector debe integrar prácticas de economía circular y adoptar tecnologías bajas en carbono para cumplir con los objetivos medioambientales y fomentar la producción sostenible, así como superar la escasez de materiales y la imprevisibilidad de los costes energéticos.

2.3.5. Restricciones legales y de normalización

Algunos sectores para los que el sector metal es el principal proveedor son reacios a integrar productos o procesos innovadores debido a regulaciones estrictas que podrían no adaptarse a un nuevo contexto tecnológico. En la misma línea, las normas industriales no siempre están preparadas para integrar nuevos productos, aunque sean excelentes y cumplan con todos los requisitos de calidad. La adaptación de la regulación a los nuevos escenarios debe ser más ágil para fomentar negocios e iniciativas innovadoras.

2.3.6. Otros

Por último, estos cuellos de botella y otros retos asociados, tanto generales como propios de cada uno de los habilitadores tecnológicos, se plasman en la siguiente imagen:

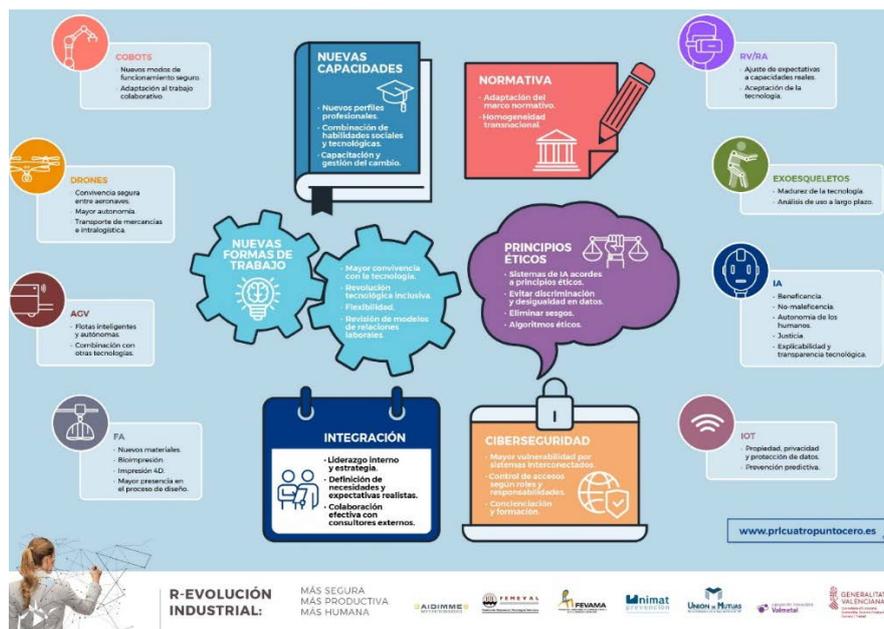


Fig. 1. Infografía sobre los principales retos asociados a la Fabricación Avanzada, focalizando en algunas de las tecnologías particulares incluidas en este ámbito. Fuente: <https://www.prlcuatropuntocero.es/>

3 Conclusiones y recomendaciones

La Fabricación Avanzada es un potente habilitador para mejorar la **competitividad y sostenibilidad** en el sector metalmecánico, es recomendable adoptar un enfoque integral basado en la **optimización de procesos, digitalización y desarrollo del talento humano**. A continuación, se presentan algunas líneas estratégicas clave:

- **Reducción de merma y desperdicio:** Es fundamental fortalecer el **control de calidad** y mejorar la eficiencia operativa. Se sugiere realizar una **auditoría de procesos productivos** para identificar puntos críticos de desperdicio e implementar soluciones como **automatización**, análisis de datos en tiempo real y mejora de los flujos de producción. La implementación de **sistemas MES y QMS** permitiría un monitoreo más preciso, mientras que la formación en **eficiencia operativa** aseguraría una correcta aplicación de las mejoras.
- **Formación y cualificación del personal:** Dada la rápida evolución tecnológica, es clave desarrollar un **programa continuo de formación** en nuevas tecnologías y metodologías de manufactura avanzada. Se recomienda analizar las necesidades del personal, establecer alianzas con **centros de formación técnica** y utilizar plataformas como **LMS y simuladores virtuales** para acelerar la capacitación. Indicadores como el **número de empleados capacitados** y la mejora en productividad servirán para evaluar el impacto. En este sentido, el Centro de Excelencia en Conocimiento del Metal, **CEX METAL**, es una iniciativa promovida por el Instituto Tecnológico **AIDIMME** y la Federación de Empresas del Metal de Valencia, **FEMEVAL**, concebido como un espacio referente en excelencia para la transferencia de conocimiento en materia de tecnologías avanzadas de producción y digitalización de los procesos productivos del sector metalmecánico y afines. Se espera que este centro sea un apoyo muy importante para cubrir las necesidades mencionadas.
- **Optimización de la logística y cadena de valor:** La integración de un **Sistema de Gestión de la Cadena de Suministro (SCM)** podría mejorar la **trazabilidad de materiales**, reducir **tiempos de entrega** y optimizar el uso de recursos. Antes de su implementación, convendría realizar un **diagnóstico de la cadena de suministro** e identificar oportunidades de automatización mediante **SGA y ERP**.
- **Automatización y robotización:** Para aumentar la productividad y reducir la dependencia de tareas manuales, se recomienda evaluar los **procesos automatizables** y definir una hoja de ruta para la implementación de **robots industriales, sistemas SCADA y control avanzado de producción**. Paralelamente, la formación del personal en el uso de estas tecnologías garantizará una adopción efectiva.

- **Digitalización y adopción de ERP's:** Un sistema ERP bien adaptado al sector metalmeccánico facilitaría la **gestión integrada de producción, inventarios y costes**. Para su implementación, es recomendable seleccionar una solución escalable, asegurar su integración con sistemas existentes y capacitar al personal en su uso. Indicadores como la **reducción del tiempo de gestión** y la **precisión de inventarios** servirán para medir su impacto. En este sentido, como se ha resaltado en apartados previos, la digitalización resulta imprescindible en este ámbito.

3.1. Sinergias debidas a la combinación exitosa de tecnologías de fabricación avanzada

Si las tecnologías descritas en apartados previos se combinan de forma conveniente pueden lograrse sinergias potenciadoras y multiplicadoras. Por ejemplo, la combinación entre **IIoT, IA, CNC, EDM, robótica colaborativa y fabricación aditiva** tiene un gran potencial para transformar la industria metalmeccánica, impulsando la producción bajo demanda y la personalización masiva. La automatización inteligente y los sistemas ciberfísicos permiten fábricas más flexibles y autónomas, donde la supervisión humana se centra en la toma de decisiones estratégicas más que en la operación manual.

La combinación de **robótica avanzada, interfaces intuitivas y realidad extendida** reduce la brecha de conocimiento entre operarios expertos y nuevos empleados, democratizando el acceso a tecnologías de alta precisión. Además, el uso de **Big Data y gemelos digitales** facilita la optimización continua de los procesos, aumentando la competitividad en un sector cada vez más exigente.

Finalmente, hay que destacar que la sostenibilidad y la eficiencia energética también se ven beneficiadas por estas innovaciones, reduciendo el consumo de materiales, optimizando los tiempos de fabricación y minimizando los residuos mediante estrategias como la **fabricación aditiva y el mantenimiento predictivo**.

3.2. Recomendaciones tecnológicas específicas de carácter previo a la implantación de tecnologías de fabricación avanzada

Acometer inversiones que tiendan a algunas de las tecnologías expuestas en capítulos anteriores puede ser una tarea complicada de abordar para empresas del sector en un solo paso, por ello, con carácter previo se recomienda tomar algunas acciones preparatorias en el plano tecnológico:

- Implementación de sistemas de automatización y robótica para mejorar la eficiencia y reducir la dependencia de la mano de obra.

- Adopción de ERPs y plataformas digitales para una mejor gestión de la producción y la cadena de suministro.
- Desarrollo de capacidades de análisis de datos para realizar predicciones de demanda y optimizar la producción.
- Colaboración en proyectos de simbiosis industrial para optimizar recursos y procesos entre empresas del sector.
- Implementación de Sistemas MES (*Manufacturing Execution System*): Estos sistemas pueden proporcionar múltiples beneficios:
 - Visibilidad en tiempo real: Mejora el seguimiento de los procesos de producción, permitiendo una respuesta rápida a problemas y optimización de recursos.
 - Mejora de la eficiencia: Al integrar y coordinar diferentes operaciones, se pueden identificar cuellos de botella y mejorar el flujo de trabajo.
 - Control de calidad: Permite la monitorización continua de la calidad, reduciendo el desperdicio y mejorando la satisfacción del cliente.
 - Gestión de datos: Facilita la recolección y análisis de datos de producción, proporcionando indicadores para la toma de decisiones informada.
 - Reducción de costes: Optimiza el uso de recursos y reduce tiempos de inactividad, contribuyendo a una mayor rentabilidad.

El éxito de estas acciones preparatorias podría constatarse haciendo seguimiento a **indicadores** como:

- **Eficiencia Operativa:** Reducción de costos, disminución de desperdicios, mejora en OEE.
- **Formación:** Número de empleados capacitados, incremento de productividad.
- **Logística y Cadena de Valor:** Optimización de tiempos de entrega, mayor trazabilidad.
- **Digitalización:** Precisión en gestión de datos, reducción de tiempos operativos.
- **Colaboración:** Implementación de proyectos conjuntos y optimización de recursos.

La combinación de estas estrategias permitiría al sector **augmentar su competitividad**, mejorar la calidad de sus procesos y aprovechar prepararse para aprovechar el potencial de las nuevas tecnologías. Para su correcta ejecución, sería recomendable contar con asesoría especializada en cada una de estas áreas. En este sentido, pueden aprovecharse

las capacidades y el conocimiento de la Agrupación Empresarial para la Innovación en los procesos productivos de Metal y Afines de la Comunidad Valenciana, **VALMETAL**, que se ha constituido como AEI y que puede ayudar en la identificación de proyectos, agentes del ecosistema y consorcios favoreciendo que surjan iniciativas innovadoras que dinamicen el sector metal en base a las sinergias detectadas.

4 Fuentes y Bibliografía

- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2019). *Manufacturing Engineering and Technology* (8th ed.). Pearson.
- Dornfeld, D. (2014). *Green Manufacturing: Fundamentals and Applications*. Springer.
- Qin, Y. (Ed.). (2014). *Micro-Manufacturing Engineering and Technology*. Elsevier.
- Yamazaki, K., & Moriwaki, T. (2008). Recent trends in CNC machine tools. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 57(1), 653-676.
<https://doi.org/10.1016/j.cirp.2008.03.014>
- Gokhale, V. G., & Naikan, N. V. R. (2019). Predictive maintenance using machine learning. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(3), 1750-1759.
<https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873274>
- Grieves, M. (2016). *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication* (White Paper). NASA.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2020). *Industria 4.0: Oportunidades y desafíos para el desarrollo productivo*. CEPAL. Recuperado de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a03ff417-5eac-479e-969b-080466df1e47/content>
- European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). (2019). *Advanced robotics, artificial intelligence and automation of tasks: Safety and health at work implications*. European Union. Recuperado de https://osha.europa.eu/sites/default/files/documents/Summary_Advanced_Robotics_and_AI-based_Systems_es.pdf
- Kovacs, I. (2020). *IoT: Internet de las cosas en el modelo de Industria 4.0*. Universidad de Sevilla. Recuperado de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/91965/fichero/TFG-1965-KOVACS.pdf>
- Redalyc. (2021). *Revisión de las tecnologías presentes en la industria 4.0*. *Revista de Ciencias Computacionales y Telecomunicaciones*, 5(2), 56-72. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/5537/553768132019/html/>
- Vemula, R., & Ham, C. (2020). *The State of Industrial Robotics: Emerging Technologies, Challenges, and Key Research Directions*. arXiv. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2010.14537>
- AIDIMME, FEMEVAL, FEVAMA, Unión de Mutuas, Unimat Prevención, & VALMETAL. (s.f.). *PRL Cuatro Punto Cero*. <https://www.prlcuatropuntocero.es/>