

# Riesgos asociados a los proyectos de fabricación aditiva en el Ejército del Aire

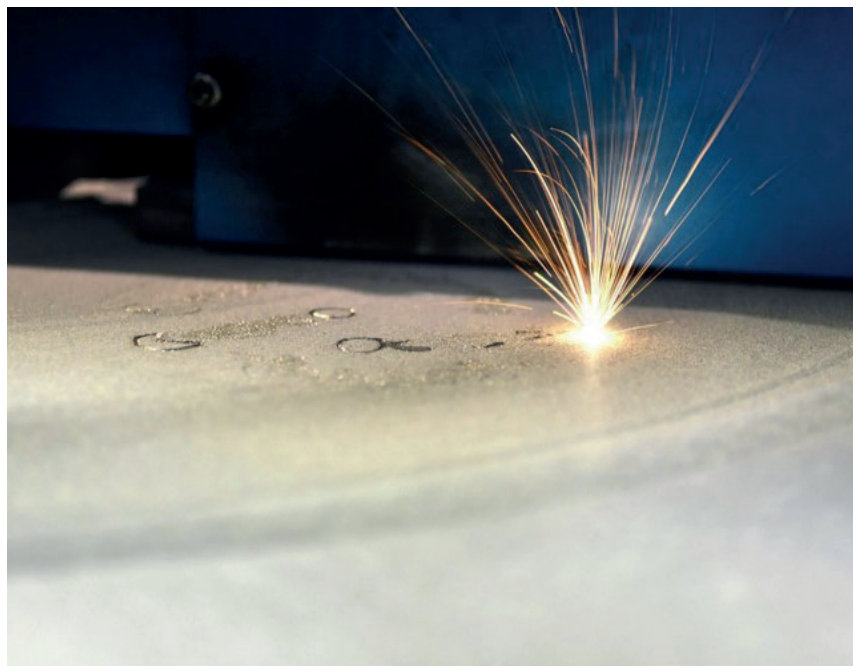
**BELÉN MORENO CABEZALÍ**  
*Profesora de la Universidad  
Rey Juan Carlos*

La fabricación aditiva (FA), también conocida como impresión 3D, es una técnica de fabricación que consiste en incorporar capa a capa materiales como metales, cerámicas, polímeros, compuestos y sistemas biológicos para construir un objeto tridimensional a partir de los datos de un modelo 3D.

Las técnicas de FA comenzaron a desarrollarse a finales de la década de 1980 con el desarrollo de la estereolitografía. El SLA-1 creado por 3D Systems fue el primer sistema de FA disponible en el mercado. En los últimos años, el uso de técnicas de FA se ha extendido a múltiples sectores como el de la aviación y el aeroespacial, la sanidad, la construcción, el automotriz y el dental.

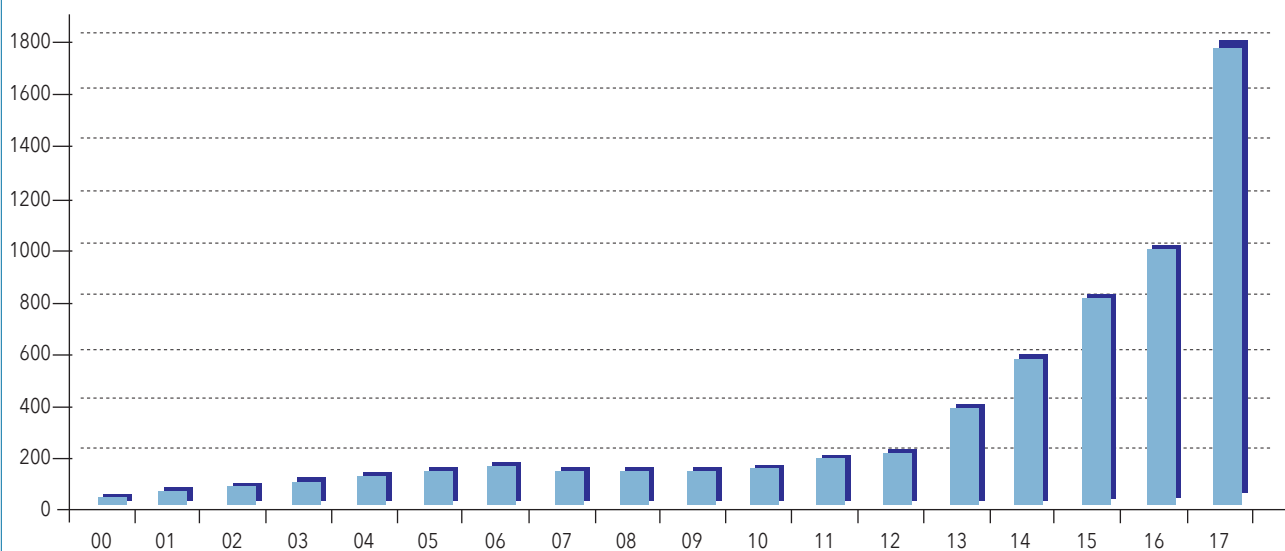
Esta forma de fabricación va a representar una revolución tecnológica de gran magnitud en los próximos años. Es una industria en pleno auge que ha aumentado un 30% anual durante los últimos diez años. Según el Informe Anual de Wholers del año 2018, la industria global de la FA alcanzó un crecimiento del 21% llegando a 7,336 mil millones de dólares en el 2017. También, la venta de sistemas de FA de metal experimentó un aumento del casi 80%, pasando de 1768 sistemas en 2017 frente a los 983 del año 2016 (figura 1).

Dicho informe también revela que el número de empresas fabricantes de sistemas de FA industriales aumentó, pasando de 97 empresas



**AUMENTO SIGNIFICATIVO EN LAS VENTAS ANUALES DE SISTEMAS DE FA DE METALES**

Figura 1



(Imagen: Campbell et al., 2018)

en 2016 a 135 en 2017. Como se puede observar, los fabricantes de sistemas se están incorporando al mercado de la FA a un ritmo muy acelerado.

Siguiendo con la misma tendencia, el mercado de la FA en el año 2018 volvió a alcanzar un crecimiento récord. Los ingresos por metales aumentaron en un 41,9% según el Informe Anual de Wholers del año 2019, continuando con la tendencia de crecimiento de los últimos cinco años, que se sitúa en más del 40% cada año. Los materiales fotopolimerizables también alcanzaron un máximo histórico, como se puede observar en la figura 2.

Se estima que, durante el año 2021, el mercado a nivel mundial de la FA aumentará un 15% y superará los 10 mil millones de dólares. Si continúa la tasa actual de adopción industrial, se prevé que alcance los 250 mil millones de dólares en 2025.

La FA es una tecnología que es empleada ampliamente en diferentes sectores y campos de investigación. Ofrece ventajas sustanciales en comparación con los procesos

convencionales de fabricación. Permite libertad de diseño, flexibilidad, alta personalización, etc. A nivel medioambiental también ofrece ventajas positivas:

- Permite que la fabricación se vuelva más localizada, reduciendo de forma significativa el impacto medioambiental de la logística.

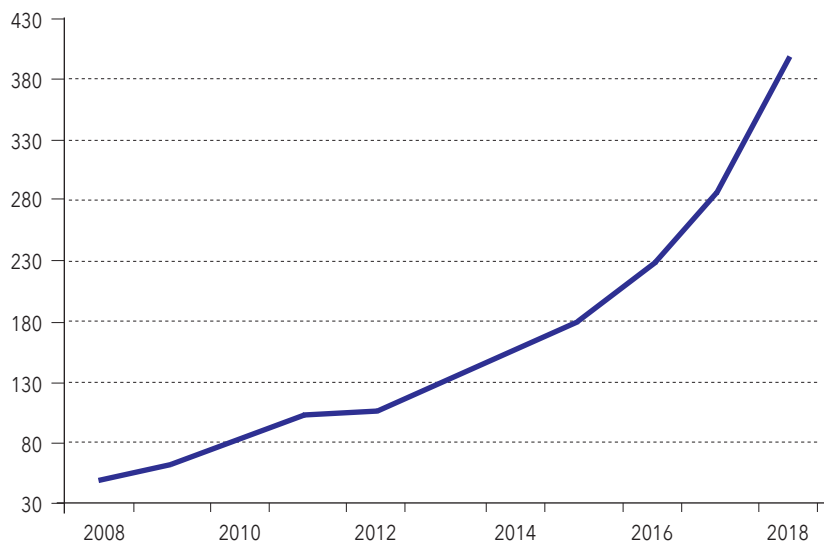
- Se pueden utilizar materiales reciclados.

- La producción es bajo pedido, por lo que permite reducir el desperdicio de las materias primas.

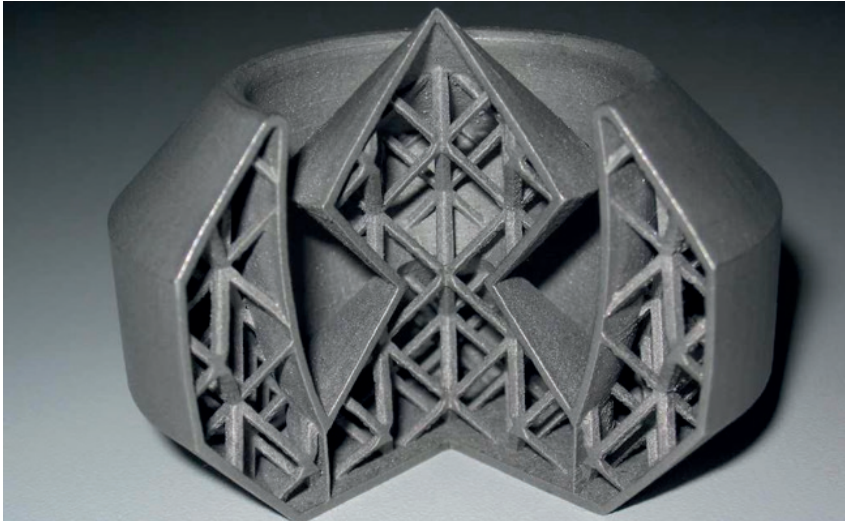
Sin embargo, esta tecnología presenta una serie de limitaciones que es necesario abordar. Por ejemplo, la variedad limitada de materiales

**MÁXIMO HISTÓRICO EN LAS VENTAS DE MATERIALES FOTOPOLIMERIZABLES**

Figura 2



Las cifras están en millones de dólares. (Imagen: Campbell et al., 2019)



imprimibles o la incapacidad general para imprimir varios tipos de materiales en una misma estructura.

En la actualidad, existe una amplia variedad de procesos de FA. Las diferencias entre ellos se basan en la forma en que se depositan las capas para crear las piezas, en el principio de funcionamiento y en los materiales que se pueden utilizar. Existen principalmente cinco categorías de procesos de FA:

- Procesos de FA basados en láser: estos métodos utilizan una fuente láser, de baja densidad de potencia para el curado de fotopolímeros (polimerización por láser) o de relativamente elevada densidad de potencia para el procesamiento de metales (fusión por láser).

- Procesos de extrusión: estos procesos utilizan una boquilla de extrusión caliente para plastificar el material que es suministrado en forma de hilos.

- Procesos de inyección de material: estos procesos utilizan boquillas delgadas para «rociar» material fundido o, más comúnmente, un aglutinante para unir el polvo a un objeto sólido de manera controlada.

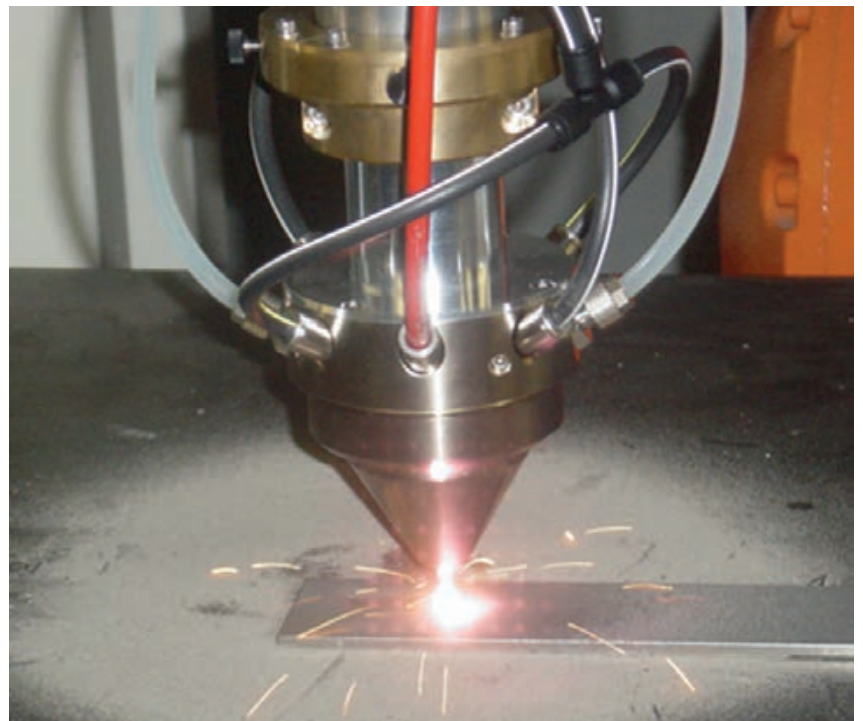
- Procesos basados en adhesivos: estos procesos suelen utilizar un láser como cortador, que corta los contornos deseados en una fina película de papel o plástico. Luego,

un compactador calentado empuja la película hacia abajo sobre la anterior, activando así un adhesivo de curado por calor presente en la cara inferior de la película para que se adhiera al sustrato.

- Procesos de haz de electrones: se utiliza un haz de electrones en lugar de un haz láser para la fusión y consolidación de las partículas de polvo. Este proceso ha de llevarse a cabo en una cámara de vacío.

Actualmente, existen diferentes tipos de materiales que pueden ser utilizados en los diferentes procesos de FA para la creación de forma fiable de piezas densas. Algunos ejemplos son aceros, aleaciones de aluminio y titanio, superaleaciones, compuestos a base de metales y compuestos de matriz cerámica. Se espera que, en un futuro cercano, las diferentes opciones de materiales imprimibles aumenten, como, por ejemplo, materiales de alto rendimiento como compuestos intermetálicos y aleaciones de alta entropía que ya se encuentran en fase de investigación.

En territorio español, esta tecnología ha sido incorporada por la maestría aérea de Madrid (MAESMA), órgano perteneciente al Ejército del Aire, el cual se encarga del mantenimiento de su flota de aviones y helicópteros. En concreto, su labor se centra en la revisión y puesta a punta de los helicópteros Super Puma y Cougar, así como de los aviones C212 y C235. Este organismo, con la ayuda y asesoramiento del equi-





po de Sicnova, se ha decantado por la adquisición de impresoras 3D de tipo industrial para la fabricación de piezas con tecnologías de fabricación con filamento fundido y de plástico con refuerzo interno de fibra

y escáneres 3D para la digitalización de objetos con luz estructurada.

Esta tecnología permite a este organismo reducir los costes y los tiempos de las piezas, así como fabricar piezas o herramientas personali-

zas que resulta muy difícil conseguir utilizando los procesos convencionales de producción.

A pesar de todas las ventajas que ofrece esta tecnología, no hay que perder de vista los riesgos que entraña la incorporación de la FA. Un ejemplo de ello se hizo patente en el departamento de ingeniería y el taller de fabricación de MAESMA, cuando hace unos años decidió incorporar esta, por entonces, nueva tecnología en los procesos de trabajo habituales utilizando kits de impresión 3D DIY. Este fue un proceso complicado, ya que se estaban dando los primeros pasos en el vasto mundo de la fabricación aditiva, y maestranza tuvo que aprender rápidamente, obteniéndose buenos resultados al final de dicho proceso. Sin embargo una avería en la impresora de difícil solución, hizo que durante un tiempo la FA quedara en segundo plano.

Para evitar que se vuelva repetir dicha situación, resulta necesario identificar y gestionar los riesgos





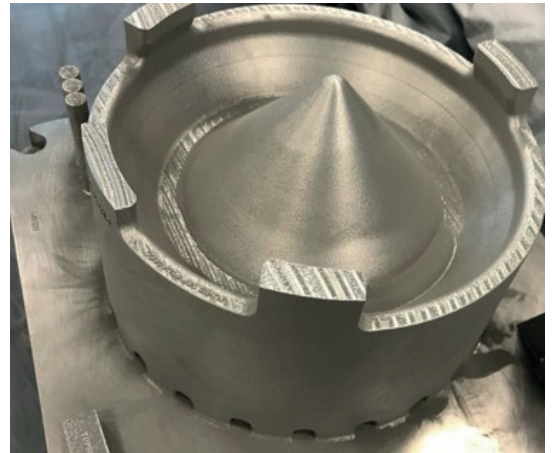
asociados a los proyectos de FA que se lleven a cabo en dicho organismo, desde la primera hasta la última etapa. Una incorrecta o deficiente gestión o mitigación de los riesgos asociados a esta tecnología, podría acarrear el fracaso de los proyectos.

En un estudio reciente llevado a cabo por investigadores de la universidad Politécnica de Madrid (UPM), se analizaron e identificaron los riesgos más críticos asociados a proyectos en el sector de la FA.

Se identificaron un total de 13 riesgos potenciales divididos en cuatro categorías (ciberseguridad y propiedad intelectual, lesiones y enfermedades corporales, factores humanos y factores financieros) como se muestra en la figura 3.

Se llevó a cabo una encuesta entre académicos y expertos de un total de 19 países. Algunas naciones con un potente sector de FA, como Estados Unidos, Reino Unido y España, contribuyeron con un elevado número de respuestas. El 79% de los encuestados desempeñaba el papel de director de proyectos, mientras que el 21% eran miembros del equipo. Estas características destacan la representatividad del estudio, debido al elevado perfil técnico de los encuestados, así como su distribución internacional.

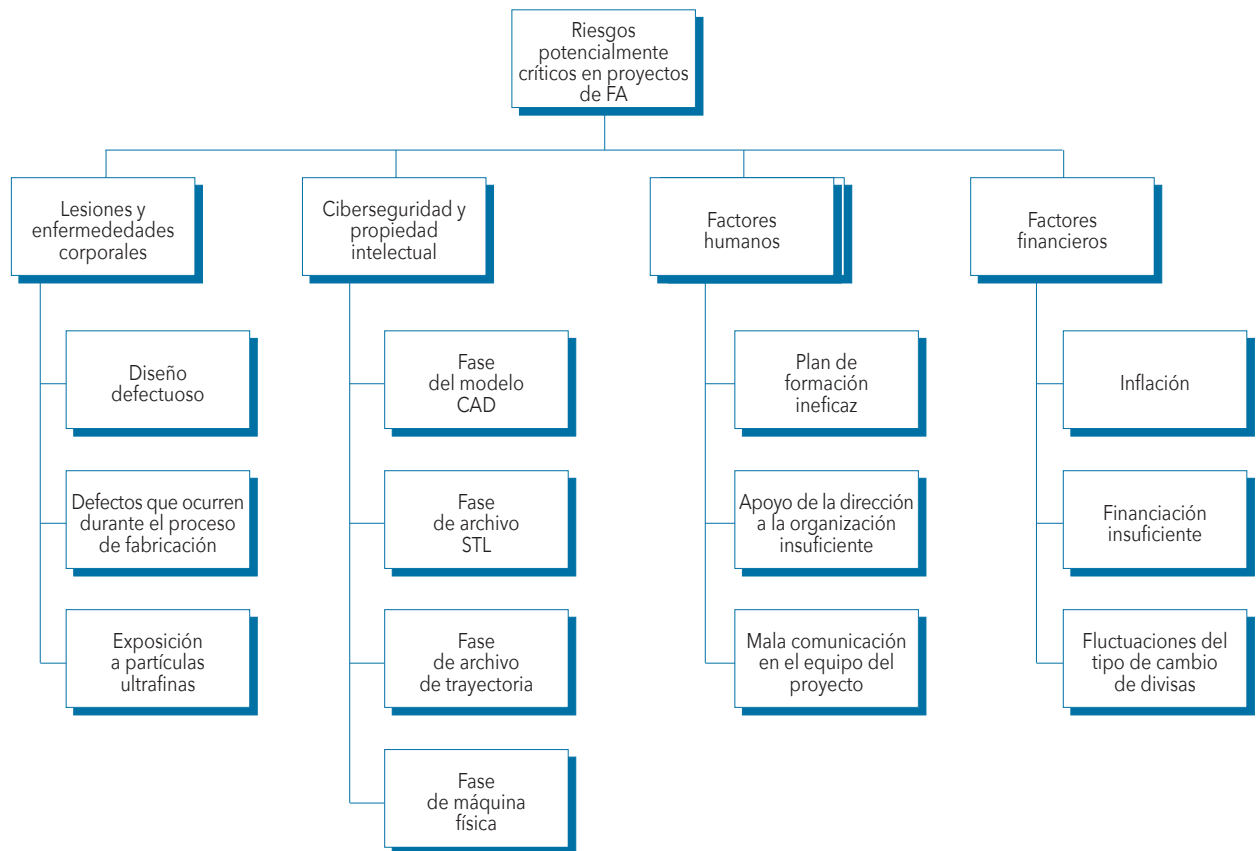
Se pidió a los 90 encuestados que valoraran cada uno de los riesgos



incluidos en el estudio mediante la medición de dos parámetros: la probabilidad de ocurrencia de un riesgo y su impacto en los objetivos del proyecto en términos alcance, tiempo, coste y calidad. Según las respuestas

**RIESGOS POTENCIALMENTE CRÍTICOS EN PROYECTOS DE FA**

Figura 3



(Fuente: Moreno-Cabezalí & Fernández-Crehuet, 2020)

Tabla 1

RELEVANCIA DE CADA UNO DE LOS RIESGOS INCLUIDOS EN EL ESTUDIO

RIESGO	PROBABILIDAD	IMPACTO	RELEVANCIA	CLASIFICACIÓN
Defectos que ocurren durante el proceso de fabricación	4,04	3,98	3,97	1
Diseño defectuoso	3,41	3,81	3,74	2
Mala comunicación en el equipo del proyecto	3,31	3,75	3,70	3
Financiación insuficiente	3,39	3,74	3,68	4
Plan de formación insuficiente	3,31	3,65	3,62	5
Apoyo de la dirección de la organización insuficiente	3,29	3,63	3,61	6
Exposición a partículas ultrafinas	3,23	3,17	3,22	7
Riesgo de ciberseguridad y propiedad intelectual en la fase modelo CAD	2,78	2,82	2,74	8
Riesgo de ciberseguridad y propiedad intelectual en la fase de archivo .STL	2,67	2,69	2,64	9
Riesgo de ciberseguridad y propiedad intelectual en la fase de archivo de trayectoria	2,44	2,64	2,45	10
Inflación	2,55	2,37	2,42	11
Fluctuaciones del tipo de cambio de divisas	2,77	2,36	2,39	12
Riesgo de ciberseguridad y propiedad intelectual en la fase de máquina física	2,34	2,67	2,37	13

(Fuente: Moreno-Cabezalí & Fernández-Crehuet, 2020)

de los expertos, el nivel de relevancia de cada riesgo se calculó a través de un modelo basado en la lógica difusa, desarrollado específicamente para el estudio, implementado en MATLAB Fuzzy Logic Toolbox. En la tabla 1 se recogen los resultados de dicho estudio.

El estudio constató que los riesgos más críticos a la hora de emprender un proyecto en impresión 3D están relacionados con los defectos que se producen durante la fabricación de la pieza o el producto final. Le siguen los retos que se derivan de un diseño defectuoso del producto, de la mala comunicación existente en el equipo del proyecto y la financiación insuficiente.

En base a los resultados obtenidos, los investigadores constataron que los defectos ocurridos durante el proceso de fabricación, con una incidencia de 3,97 puntos sobre una escala de 5, es el riesgo más crítico en proyectos de este tipo. Le siguen el diseño defectuoso, con una relevancia de 3,74 sobre 5, la falta de comunicación en el equipo, con un 3,70, y la falta de financiación, con un 3,68.

Por el contrario, los riesgos relacionados con la ciberseguridad y la propiedad industrial en la etapa de impresión física de la pieza o producto final (2,37 sobre 5), los relacionados con las fluctuaciones del tipo de cambio (2,39 sobre 5) o los

relacionados con la inflación (2,42 sobre cinco) son los riesgos que tienen una menor relevancia en la gestión de proyectos en el sector de la impresión 3D.

Atendiendo a los resultados arrojados por este estudio, queda clara la importancia sobre la consideración de los riesgos asociados a los proyectos de FA, ya que cada uno de ellos tiene características únicas y un grado variable de complejidad. Además, pueden ocasionar sobrecostes, retrasos en la finalización, resultados insatisfactorios o fracaso total. Por esta razón, para aumentar las posibilidades de éxito del proyecto, se necesita llevar a cabo una gestión de riesgos temprana y eficaz que reduzca la incertidumbre, y mejorar la toma de decisiones.

Para conseguirlo, MAESMA necesita identificar y gestionar los riesgos asociados a los proyectos desde la concepción de los mismos hasta la fabricación del producto final. Si no se realizase una correcta gestión o mitigación de los riesgos asociados a estas tecnologías, esto podría suponer contratiempos para los proyectos llevados a cabo por este organismo. Por tal motivo, la gestión de riesgos es considerada como una pieza fundamental en la gestión de los proyectos de MAESMA. ■

