

# El Ejército del Aire 4.0

## La perspectiva del sostenimiento

**RAFAEL GÓMEZ BLANCO**  
Coronel del Ejército del Aire

La cuarta revolución industrial también denominada revolución digital, ya está aquí y va a afectar a los todos los ámbitos de nuestra vida. La aplicación casi universal de la digitalización, la explosión de las comunicaciones y la automática, unidos a la aparición de nuevos materiales y métodos de fabricación, se aplicarán con profusión y nos impactarán de forma determinante.

A la vanguardia de los desarrollos tecnológicos, las Fuerzas Aéreas de todo el mundo se apresuran a incorporar estos nuevos avances y a adaptar sus sistemas, infraestructuras, doctrina y personal para poder explotarlos de forma eficaz, en el cumplimiento de sus misiones. Varios son los retos que se deben afrontar para un uso adecuado de estas tecnologías y que hacen especialmente difícil su incorporación:

– Su rápida evolución. Los tiempos de desarrollo y cambios tecnológicos han pasado de siglos a décadas en unos pocos años, lo que implicará constantes retos para mantener actualizados nuestros sistemas. A modo de ejemplo, el número de patentes internacionales ha crecido exponencialmente desde los años 90 (unas 300 000) al presente (casi cinco millones)<sup>1</sup>.

– Su carácter eminentemente dual. El liderazgo de los desarrollos tecnológicos civiles de doble uso es ya una realidad. Así, las inversiones en I+D civil en los Estados Unidos son en la actualidad más del 80 % del total, cuando en los años 80 suponían menos del 10 %<sup>2</sup>. Este cambio de modelo proporciona oportunidades de cooperación, pero también plantea nuevos retos para mantener nuestra ventaja tecnológica.



*Digitalización y conectividad en el sostenimiento 4.0*



*Mantenimiento predictivo*

– El choque cultural. Con un cambio copernicano en las relaciones interpersonales y en la forma en la que nos enfrentamos con las máquinas que, por primera vez en la historia, retan a la inteligencia humana y la superan, si bien por el momento en tareas muy específicas.

Los tres ingredientes anteriores deben implicar una revolución global en la forma de operar y sostener nuestros sistemas de armas, si queremos aprovechar en nuestro favor las tecnologías anteriores que, de seguro, serán empleadas por nuestros adversarios potenciales.

El Ejército del Aire está preparándose para esta revolución que afectará a todo el ámbito de las personas, de los procesos y de los sistemas.

Tomando la base aérea como núcleo esencial de la preparación de la fuerza y la proyección de las operaciones, la revolución 4.0 ha de venir por la adaptación de las actuales bases aéreas y maestranzas a estos nuevos sistemas y a los novedosos procesos de operación y sostenimiento que los acompañan.

En este artículo nos centraremos en los aspectos 4.0 del sostenimiento de los sistemas, para ello se realizará un análisis de la evolución del sostenimiento centrado en el mantenimiento de la seguridad en vuelo y las capacidades, se examinarán las características principales de las nuevas tecnologías que le darán soporte, nos centraremos en el concepto de *big data* y la arquitectura conceptual asociada a las bases aéreas y las maestranzas, como centros principales de sostenimiento, para terminar con algunos ejemplos que ya se están implantando a modo de proyectos experimentales.

## EL SOSTENIMIENTO 4.0

El elevado esfuerzo de sostenimiento de los sistemas aeroespaciales, y el gran peso de la ingeniería, es una de las características que los diferencia de otros sistemas de armas, con menores niveles de complejidad y exigencia operativa.

La actividad central del sostenimiento aeronáutico es el mantenimiento, cuyo objetivo es garantizar la seguridad en vuelo sin merma de sus capacidades operativas. En los sistemas actuales la generación de unas pocas horas de vuelo implica un ingente esfuerzo de mantenimiento. A título de ejemplo, la generación de una hora de vuelo del F-35 implica unas 50 horas-hombre de mantenimiento<sup>3</sup>.

La revolución 4.0 trae consigo sistemas aeroespaciales con un incremento exponencial de la complejidad, derivada de una exigente agilidad operacional, de la variedad de sensores y armas que aloja, de su operación en red junto con los cada vez más numerosos sistemas conectados, del aumento de su automatismo hasta llegar a la autonomía y de su fuerte capacidad de configuración mediante la implementación de SW y la aplicación de algoritmos adaptativos. Las aeronaves actuales tienen más de 20 millones de líneas de código y sus funcionalidades recaen en más del 80% en sistemas automáticos<sup>4</sup>.

En ese entorno de complejidad, el concepto de mantenimiento y su ingeniería de soporte están evolucionando desde la clásica filosofía de mantenimiento preventivo o según condición, a un mantenimiento predictivo en todas las áreas de la aeronave y sus subsistemas.

El mantenimiento predictivo pronostica con antelación el fallo de un elemento y determina la acción de mantenimiento que previene este fallo, ya sea mediante su simple sustitución o con la incorporación de otras acciones específicas. En su grado más avanzado, el mantenimiento predictivo es capaz de adaptar sus estimaciones a las condiciones de empleo de las aeronaves o a su envejecimiento. Esta nueva filosofía se incorpora a todas las áreas del sostenimiento, al permitir una mejor planificación tanto de las acciones de mantenimiento, como de los stocks de repuestos. En su grado más avanzado, los sistemas de prognosis son capaces de establecer intervalos de inspección variables, adaptados a la condición de los sistemas y a su futura operación prevista.

La implantación de un verdadero sostenimiento 4.0 requiere la adquisición de todos los datos disponibles en las aeronaves y sus sistemas de misión y apoyo, y su empleo adaptado a



todas las fases del ciclo de vida del sistema. Es el denominado mantenimiento centrado en los datos (*data driven maintenance*), que se ve complementado con la incorporación de todos los avances de la cuarta revolución industrial, disponibles para la optimización del sostenimiento. Sin ánimo de ser exhaustivos, se citan a continuación las tecnologías disruptivas que se consideran más relevantes, agrupadas en las cuatro Fases básicas del sostenimiento 4.0:

– Adquisición de datos. Durante la que se realiza la recolección masiva de los datos necesarios para la determinación del estado de la aeronave, sus sistemas, repuestos, bancos y otros elementos de apoyo. En esta fase también se considera incluida la distribución de estos datos a los lugares en los que realizará su análisis posterior. La adquisición deberá realizarse tanto en tiempo real (principalmente en las fases finales del vuelo) como en diferido, justo después del aterrizaje y podrá ser complementada con datos adicionales obtenidos mediante acciones específicas, como inspecciones de la estructura, diagnósticos de equipos o análisis de fluidos de la aeronave, entre muchos otros.

– Análisis de ingeniería de los datos. El análisis de la ingente cantidad de datos registrados y su gran variedad supone uno de los retos más importantes en la aplicación de la filosofía de sostenimiento orientada a los datos y que va a ser tratada en detalle más adelante, como parte del concepto *big data*.

– Planeamiento del sostenimiento. El resultado de los análisis implicará acciones de sostenimiento a largo, medio y corto plazo, que permitan adaptar el

planeamiento del mantenimiento y la cadena logística. Será posible determinar el momento más adecuado para ejecutar las acciones preventivas o correctivas. También será posible adaptar los intervalos de inspección para cada aeronave, según su estado actual y previsto en el futuro. Toda esta planificación permitirá un empleo más flexible y organizado de los recursos materiales y de personal, que se desplazarán allá donde sean necesarios en el momento previsto.

– Actuación del sostenimiento. El moderno sostenimiento no solo se caracterizará por una elevada capacidad de prognosis, que permitirá planificar las acciones y optimizar los recursos. El empleo masivo de nuevas tecnologías de inspección (como radiografía digital), la automatización de tareas (como el empleo de robots), el uso de nuevos materiales y procesos de fabricación (como la impresión 3D metálica) o el empleo de realidad virtual o aumentada y (como el uso de gafas holográficas) permitirán la ejecución de las tareas de forma más rápida y precisa.

### EL MANTENIMIENTO EN DOS NIVELES

Si el mantenimiento predictivo es la característica más relevante de la evolución del mantenimiento moderno civil y militar, la reducción de los niveles de mantenimiento es uno de los cambios más específicos del mundo militar.

La filosofía en dos niveles del mantenimiento de los sistemas militares aeronáuticos inició su incorporación a las Fuerzas Aéreas norteamericanas a finales de los 90. El mantenimiento en dos niveles (*Two Level Maintenance*, TLM) busca la optimización de los recursos de mantenimiento evitando las duplicidades

existentes ente los tres niveles tradicionales, reduciendo el personal y los equipos de diagnóstico y reparación de averías.

Para ello, se disgregan las tareas de mantenimiento en dos niveles: aquellas incorporadas por un grupo reducido de mantenedores de las unidades operativas y que garantizan el empleo normal del sistema durante un periodo de tiempo determinado. El resto de las acciones preventivas y correctivas son aplicadas por los terceros escalones, ya sea en sus instalaciones o mediante el despliegue de estos medios a las ubicaciones en las que esté operando la unidad en ese momento.

Inicialmente aplicado a sistemas diseñados en el paradigma clásico de tres niveles, el TLM no ha conseguido hasta ahora todas las mejoras en eficiencia que de él se esperaba. La revolución 4.0 y el concepto de mantenimiento predictivo vienen a alinearse con el concepto TLM y permitirán explotar todas sus ventajas. De esta forma, las bases aéreas, ya sean permanentes o desplegadas, y las unidades operativas que alberguen, focalizarán sus capacidades en la preparación y empleo de sus misiones, concentrándose la mayor parte del esfuerzo del sostenimiento en los terceros escalones, que deberán disponer de suficientes recursos desplegables para apoyar a las operaciones.

### BIG DATA Y LA BASE AÉREA CONECTADA-INTELIGENTE

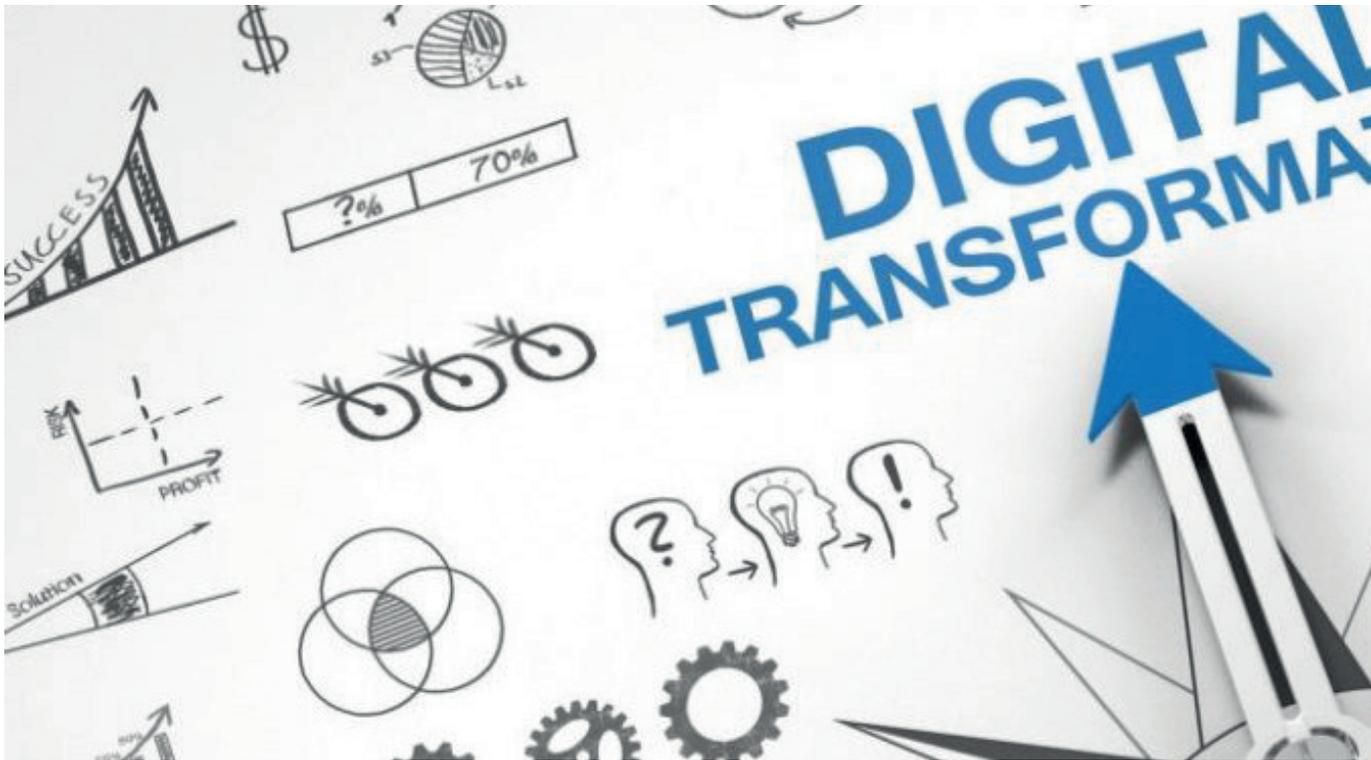
Como se ha mencionado antes, la gran revolución del mantenimiento 4.0, aplicable tanto al mundo militar como al civil, es el uso exhaustivo de todos los datos disponibles con el objetivo de predecir y planificar las acciones de mantenimiento y la logística que le deben acompañar.

Al igual que en el resto de las áreas de la sociedad 4.0 en la que nos adentramos, el uso masivo de datos no supone un cambio cuantitativo sino una revolución, que ha venido a denominarse *big data* y que engloba numerosos conceptos. Centrándonos en su aplicación al sostenimiento 4.0, se van a citar sus principales características:

- Volumen. Una de las características más conocidas asociadas al *bigdata* es el gran volumen de información a gestionar. Una aeronave moderna con arquitectura de aviónica federada puede generar terabytes de datos en un solo vuelo. La interconexión entre las numerosas y muy diversas fuentes de información, implicará un aumento adicional del volumen global de los datos disponibles. El reto no solo estará la adquisición y distribución inicial de este ingente volumen de datos, sino en su gestión posterior, toda vez que el



Sistema de inspección robotizada para ensayos no destructivos



almacenamiento indiscriminado de la información será inabordable.

– Velocidad. Como sinónimo del cambio es otro de los aspectos relevantes del *bigdata*. La velocidad de transmisión de datos de cualquier red inalámbrica moderna, como la 5G, es de un gigabit por segundo y la capacidad de estas redes se multiplica por diez en los próximos años. Pero tan importante como su transmisión, encontramos el ágil cambio de estos datos. La actualización del estado de los sistemas y su agilidad operacional impulsará de forma exponencial la volatilidad de los datos disponibles. La frecuencia con la que se actualizan los vectores de estado de una aeronave moderna o con las que se actualizan los sistemas de autodiagnóstico pueden oscilar en la actualidad entre 1 y 100 veces por segundo, pudiéndose superar estas frecuencias en el caso de sistemas críticos.

– Variedad. La variedad es posiblemente la mayor diferencia cualitativa del *bigdata* con respecto a los paradigmas previos de gestión de la información. Por un lado, se van a gestionar datos de muy diversos formatos: la ingente cantidad de datos digitalizados que circulan por los buses de la aviónica, las conversaciones procedentes de las comunicaciones entre humanos, las imágenes de inspecciones visuales, termografías o rayos X o los datos de sensores analógicos específicos digitalizados son solo algunos ejemplos de esta variedad. Por otro lado, el origen de estos datos será

también muy diverso tanto por los entes que los generan como por las áreas geográficas en las que se produzcan. A modo de ejemplo, se espera que en 2021 más de la mitad de los datos que se intercambian en el mundo se realicen entre máquinas sin intervención humana<sup>5</sup>.

– Veracidad y disponibilidad. El volumen, velocidad y variedad de los datos dará lugar a la coexistencia de información valiosa con una ingente cantidad de datos irrelevantes, ruido procedente de sensores, datos falsos o modificados por nuestros adversarios o ataques que impidan nuestro uso. Según estimaciones de la industria de comunicaciones, en 2021 se esperan más de 14 millones de ataques de denegación de servicios, lo que indica que el riesgo existe y es real<sup>6</sup>. Garantizar la relevancia de los datos, su pertinencia, veracidad y disponibilidad, son esenciales para garantizar nuestra operación y sostenimiento futuros.

Como se puede apreciar, los retos que plantea la aplicación del *bigdata* hacen necesario que su gestión y explotación no solo impliquen la evolución de las infraestructuras de almacenamiento, proceso y comunicaciones, sino que requieren una aproximación revolucionaria que afecte a todos los niveles doctrinales y culturales de la organización.

El papel que deben jugar las bases aéreas en la aplicación de estas tecnologías e infraestructuras es esencial, dado que éstas alojarán y servirán de nodos de acceso principales para la preparación, operación y



sostenimiento de la fuerza. La interconexión de datos entre las bases aéreas, los mandos logísticos y los terceros escalones y fabricantes, será una vez más la clave para el éxito de esta filosofía, que deberá verse complementada con la explotación de las nuevas tecnologías que se están desarrollando como parte de la revolución digital.

Se mencionan a continuación algunas de los principales avances a incorporar en estas bases y maestranzas aéreas conectadas e inteligentes, en beneficio del sostenimiento y operación de los sistemas:

- El aumento de la capacidad global de proceso y almacenamiento y su distribución entre los diferentes servidores, ordenadores y resto de elementos de computación disponibles, de forma que se aprovechen todas las capacidades accesibles en cada momento.
- La conexión mediante redes ágiles y seguras de gran ancho de banda de todos los dispositivos que intervengan en la operación y sostenimiento de nuestros sistemas, mejorando el acceso de los operadores y mantenedores a estas redes, que deberán cubrir no solo las zonas habituales de operación sino las de despliegue.
- La aplicación pormenorizada de técnicas de inteligencia artificial y algoritmos de autoaprendizaje que sean capaces de gestionar el *bigdata* con todas sus peculiaridades y adaptarse a su dinámica evolución.
- La implantación de sistemas automáticos, robóticos o de realidad aumentada que permitan reducir

los tiempos de ejecución de aquellas tareas de mantenimiento repetitivas, complejas o de gran tiempo de ejecución, según el caso.

- El desarrollo de nuevas tecnologías de reparación o fabricación de elementos empleados para la reparación, que exploten las nuevas tecnologías de fabricación, como la impresión 3D, y las integren en el ciclo de mantenimiento.

### TECNOLOGÍAS DE SOSTENIMIENTO 4.0 EN EL EJÉRCITO DEL AIRE

Fiel a su compromiso con la tecnología, el Ejército del Aire lleva ya algunos años trabajando en tecnologías de sostenimiento 4.0. Lideradas desde el Mando del Apoyo Logístico, realizadas en colaboración con la industria fundamentalmente española e implantadas esencialmente en las maestranzas aéreas, están sirviendo como bancos de prueba para la revolución 4.0 que está ya aquí.

- Robotización. Se han iniciado actividades de robotización en áreas críticas para mantener la seguridad en vuelo en el corto plazo. Entre ellas destaca el desarrollo de un sistema de inspección robótica de aeronaves mediante ensayos no destructivos (END), que están implantándose inicialmente en la Maestranza Aérea de Albacete, y que permitirán, entre otras cosas, aumentar la vida de las superficies de mando de C.15.
- Inteligencia artificial. En paralelo a la potenciación de las capacidades críticas de END, se comienzan a aplicar técnicas de Inteligencia Artificial (IA) que ayuden a los especialistas a la difícil interpretación del resultado de las inspecciones. Usando técnicas de IA débil (*Machine Learning* y *Deep Learning*) se usarán para el análisis de imágenes (como rayos X o termografía) o señales indirectas, como las corrientes inducidas.
- Realidad aumentada. Con el doble objetivo de facilitar el acceso a la información de mantenimiento en tiempo real y dar asistencia remota desde los terceros escalones, las maestranzas de Madrid y Albacete comienzan a usar gafas holográficas para END a distancia. Con este sistema, expertos en END de las maestranzas guiarán en estos ensayos a especialistas de las unidades con menor cualificación.
- Mejora de procesos y materiales. Se están revisando los procesos de fabricación en materiales plásticos y metálicos, de piezas usadas en la reparación de aeronaves, de forma que se puedan reducir los tiempos de ejecución y se optimicen los materiales empleados. Este proceso de mejora se centrará en la coordinación de las herramientas de escaneo geométrico, de diseño CAD/CAM y de cálculo



estructural; en la optimización de los centros de mecanizado tradicionales y en su coordinación con nuevas máquinas de impresión 3D, tanto en polímero como en aleaciones aeronáuticas.

– Digitalización. Todas las actividades anteriores requieren disponer de datos digitalizados y distribuidos mediante red a los puestos de mantenimiento y los centros de ingeniería del EA. Con este objetivo, las tres maestrías y algunas unidades están en proceso de digitalización de la información de mantenimiento e instalación de redes locales que permitan su integración hasta el puesto de trabajo, mediante el uso de dispositivos portátiles. El proceso de digitalización quedaría incompleto si en él no se incluyera además el sistema de abastecimiento, por lo que también se están iniciando análisis en esta área.

– Mantenimiento predictivo. En colaboración con la industria, se están aplicando algoritmos genéticos y redes neuronales para la mejora en la predicción de los modos de fallo de sistemas de aviónica del C.16.

– El nuevo Sistema Logístico 2000. Desde el Cuartel General del Aire se está realizando una revisión completa de las funciones e infraestructuras del Sistema Logístico, que está llamado a sustituir al actual SL-2000. Esta evolución tendrá en cuenta las necesidades de *bigdata* y conectividad del sostenimiento 4.0 en todas las áreas, que van desde el abastecimiento, a la ingeniería.

## CONCLUSIONES

– La cuarta revolución industrial ya está aquí y su impacto en la tecnología aeroespacial se refleja en la evolución hacia un sostenimiento basado en el mantenimiento predictivo y reducido a dos niveles, que permitirá optimizar los recursos disponibles y mejorar la planificación de las acciones de mantenimiento.

– La transformación digital del Ejército del Aire debe basarse en sus bases aéreas, como núcleo de la preparación y empleo de la fuerza, conectadas a los centros de decisión y planificación logística y a sus terceros escalones.

– Es imprescindible progresar en la transformación del sostenimiento en general y de los terceros escalones en particular, a través de la explotación de las nuevas tecnologías de análisis, prognosis, inspección, automatización y nuevos procesos y materiales. ■

## NOTAS

<sup>1</sup>Fuente: World Organization of Intellectual Property. 2017.

<sup>2</sup>Fuente: United States General Accounting Office. 2017.

<sup>3</sup>Fuente: United States General Accounting Office. 2018.

<sup>4</sup>Fuente: United States National Aeronautics and Space Administration. 2000.

<sup>5</sup>Fuente: CISCO. 2017.

<sup>6</sup>Fuente: CISCO. 2017.