



ACADEMIA DE LAS CIENCIAS
Y LAS ARTES MILITARES

Comunicaciones académicas

Inteligencia logística y apoyo al ciclo de vida de los sistemas militares

Manfredo Monforte Moreno

Academia de las Ciencias y la Artes Militares
Sección de Prospectiva de la Tecnología Militar

26 de enero de 2024

Se puede definir «inteligencia logística» como la rama de la inteligencia económica aplicada a la cadena logística y, de manera especial, a los procesos de entrega al usuario final. La inteligencia logística se basa en el desarrollo de una serie de procesos de obtención de datos, su tratamiento y explotación para la toma de decisiones y mejora del rendimiento de la organización logística.

El elemento más importante para convertir los datos en información útil y oportuna es el conjunto de algoritmos que permiten optimizar los procesos mediante la aplicación de la inteligencia artificial y, en general, de la tecnología. Mediante la correcta aplicación de la inteligencia logística pueden mejorarse disruptivamente los procedimientos de obtención, almacenamiento, distribución, abastecimiento y transporte. De hecho, un enfoque basado en inteligencia logística es capaz de brindar un incremento significativo en la productividad de la cadena de valor. Las mayores ventajas de aplicar la inteligencia artificial a la logística se pueden resumir en:

- Automatización de los almacenes y optimización del volumen de stocks.

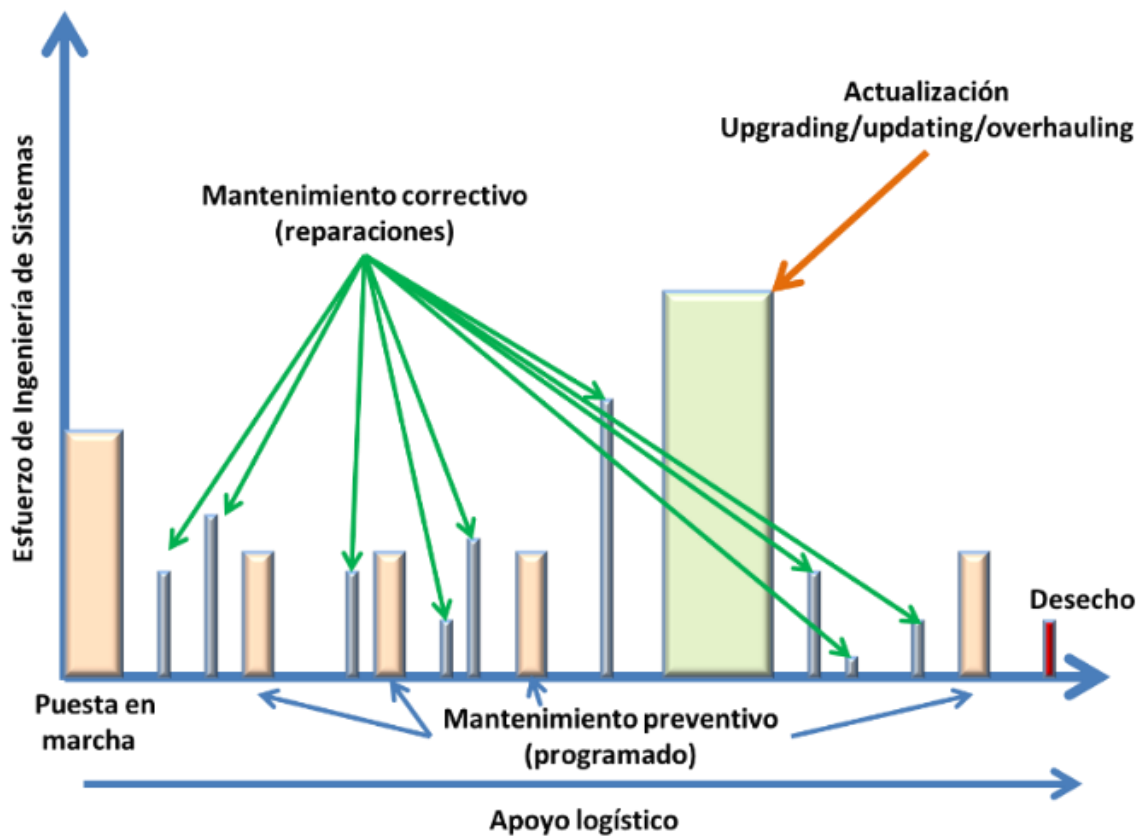
- Mejoras en la planificación.
- Revisión continua en tiempo real de la demanda y optimización de las compras superando el viejo concepto de lote económico.
- Menores desperdicios y reprocesos (*lean logistics*).
- Mejora de la operatividad de las unidades usuarias.

Entre las operaciones de apoyo a un sistema se pueden distinguir cuatro tipos de actuación relacionados con la reparación de los sistemas, su revisión y el análisis de datos, que dan lugar a los mantenimientos correctivo, preventivo, predictivo y proactivo respectivamente.

El mantenimiento correctivo tiene por finalidad recuperar la condición del sistema tras producirse un fallo en el mismo y corregir los defectos observados en los equipamientos o instalaciones. Suele iniciarse con un diagnóstico tras la observación de un mal funcionamiento o un incidente fortuito. Fue el único concepto asociado al mantenimiento de la operatividad hasta principios del siglo XX. Los fallos o averías no pueden, en general, planificarse, por lo que los costes asociados a este tipo de operación no pueden preverse salvo mediante aproximaciones estadísticas si la muestra de población es significativa. Algunas de las actuaciones de reparación tienen que ver con accidentes sobrevenidos en el empleo, como es el caso de un accidente, mientras que otros se relacionan con la rotura de piezas mecánicas, fallos del software, uso inadecuado o mal funcionamiento de algún componente. El mantenimiento correctivo puede ser inmediato, cuando se puede reponer la condición de uso en el mismo momento en que se produce, o diferido. Un ejemplo del primero es la reparación de un pinchazo o la sustitución de una bombilla del faro de un vehículo; del segundo, un fallo de la bomba de combustible, que precisa traslado al taller y espera de la disponibilidad del repuesto y del mecánico.

Durante el pasado siglo, los sistemas fueron incorporando nuevas funcionalidades que incrementaron su complejidad, lo que elevó el número de actuaciones correctivas hasta hacerlas insostenibles. Se hizo necesario entonces encontrar las causas de las averías más frecuentes y anticipar acciones para evitarlas. Nace así el denominado mantenimiento preventivo, cuya finalidad es adelantarse a las averías para mantener la condición del sistema y evitar los costes asociados a los fallos y las pérdidas de disponibilidad. El mantenimiento preventivo puede ser programado, que se conoce como «operación de servicio»; de oportunidad, que aprovecha operaciones de mantenimiento correctivo o preventivo para operaciones no programadas; o predictivo, que anticipa acciones para evitar posibles averías estadísticamente probables.

Las operaciones sobre un sistema militar presentan todos los tipos de mantenimiento preventivo. Son mantenimiento programados las entradas en el segundo escalón (taller) cada x kilómetros, horas de funcionamiento o meses de operación para cambiar filtros, aceite y revisar otros elementos. Es de oportunidad cuando durante la reparación de una avería o una revisión rutinaria se aprovecha para cambiar la correa de la distribución con el fin de prevenir una rotura y ahorrar los costes de volver a desmontar ciertas piezas del motor, y predictivo, cuando se decide cambiar los neumáticos de verano a unos de invierno con vistas a las condiciones de conducción con nieve y hielo. Sería proactivo en un vehículo nuevo del que todavía no se tienen datos estadísticos y se decide extraer el sistema de escape para examinar su estado en laboratorio y obtener así un anticipo de su posible corrosión y puntos débiles.



El mantenimiento predictivo se basa en la condición técnica del equipo en operación. La idea es que las máquinas pueden dar algún tipo de señal antes de que fallen, como la presencia de virutas de acero en el aceite de un motor de combustión interna, lo que permite tomar decisiones de reparación o cambio. A veces, basta con que el equipo haya superado un número de horas de funcionamiento para cambiarlo por uno nuevo o revisado, como es el caso de una turbina de helicóptero, que se sustituye por otro, pasando el retirado a una revisión completa antes de volver a ponerlo en servicio en otro aparato.

El mantenimiento predictivo se aplica a elementos de responsabilidad y, en especial, a aquellos que afectan a la seguridad de funcionamiento de acuerdo con la durabilidad y fiabilidad de sus elementos. Las tareas se extienden a revisar, limpiar, verificar y cambiar componentes sospechosos o que generen dudas. Se trata pues de aplicar técnicas de pronóstico de los puntos de posible fallo para planificar aquellas sustituciones de los elementos próximos a sufrir un fallo antes de que se produzca. Lo que se busca –y se consigue– es maximizar la disponibilidad y la seguridad de los sistemas.

Existe un cuarto tipo de mantenimiento, denominado proactivo, de actualización, de precisión o basado en fiabilidad, consistente en la mejora continua de las estrategias de mantenimiento para eliminar fallos repetitivos y problemas recurrentes. Se extiende a la gestión de los equipos y el software, así como a todos los recursos implicados. Su objeto último es reducir los costes del ciclo de vida. Algunas actuaciones derivan en el rediseño de algunos elementos o del sistema completo aprovechando componentes: son los procesos de actualización, *upgrading* u *overhaul*. La razón de ser del mantenimiento proactivo no es evitar los fallos, sino minimizar sus consecuencias, por cuya razón se enfatiza en que no todos los fallos son lesivos y deben prevenirse. De esta manera la organización se enfoca en las actividades de mantenimiento con mayor efecto en la operatividad de los sistemas y no gasta energía en aquellas de menor efecto.

Las tareas de mantenimiento proactivo se realizan antes de que ocurra un fallo o avería mediante acciones de mantenimiento preventivo o predictivo y realizando operaciones de restauración programada o descarte planificado. Estas últimas, restauración o descarte, tienen relación directa con la edad del sistema y normalmente se deben a la fatiga, la corrosión o el desgaste, aunque en el momento de la sustitución o desecho no importe en qué condición está el componente afectado. Las técnicas asociadas al mantenimiento proactivo y la inteligencia logística permiten optimizar la disponibilidad de los sistemas, una característica fuertemente acoplada a las condiciones del entorno de operación.

Existen diferentes patrones de fallos en los cada vez más complejos sistemas militares. Lo normal es que un sistema presente fallos tras la entrega (averías infantiles) cubiertos por la garantía del fabricante y que, tras un valle en forma de bañera, los fallos se incrementen al final del ciclo de vida. En ciertos equipos, la calidad de fabricación minimiza los fallos infantiles pero su funcionalidad va disminuyendo con el uso hasta que el número de fallos o la obsolescencia recomienda su reemplazo, como es el caso de los ordenadores personales de uso militar. Aunque menos habitual, hay sistemas que presentan un número de fallos constante a lo largo de toda su vida. En todos los casos, no existe una relación clara entre edad y fiabilidad de un sistema. Los sistemas que pueden mantenerse

durante periodos prolongados en unas condiciones próximas a las que tuvo en su estreno se denominan «conservables», aunque nunca excederán las prestaciones con las que se fabricaron. De hecho, en caso de llevar el equipo al límite de diseño o superar las condiciones previstas de uso, la degradación del sistema será rápida e irreversible.

Ni el mantenimiento proactivo ni el predictivo eliminan el correctivo en su totalidad, pero ambos permiten aplicar técnicas soportadas por la tecnología que proporcionan la identificación de patrones y tendencias de comportamiento de cada componente del sistema, entre los cuales el software resulta ser uno de los componentes más críticos. La combinación de sistemas, su interconexión y el trabajo coordinado generan sistemas de sistemas altamente dependientes del software y las redes disponibles por las que circulan los datos proporcionados por los sensores, de ahí la criticidad del software y de su integridad debido a su vulnerabilidad.

El mantenimiento preventivo se materializa en un plan que integra datos y facilita la toma de decisiones. Para ejecutarlo son necesarias tecnologías específicas y datos de estado en tiempo real, como los de rendimiento, historial de mantenimiento o información de diseño. Estos datos pueden almacenarse en repositorios del propio sistema o transmitirse a un centro receptor por vía telemática. Aunque no se puedan evitar las actuaciones de mantenimiento de emergencia debido a que siempre hay imprevistos y riesgos, el mantenimiento predictivo, dentro del plan preventivo, puede eliminar muchas de las causas de fallos y averías: se optimiza la frecuencia de las intervenciones y su duración, con la consiguiente mejora en la disponibilidad.

Las técnicas de apoyo al ciclo de vida tienen ventajas, pero también algunos inconvenientes. Como ventajas cabe citar el incremento de la vida útil del sistema y de sus componentes, la reducción de costes por menor número de horas de trabajo y repuestos y la mejora de la seguridad física. Los inconvenientes tienen que ver con la mayor cualificación del personal que debe analizar los datos y la inversión inicial para el diagnóstico.

El aumento del volumen y variedad de la información almacenada en bases de datos y otras fuentes es un hecho. Gran parte de los registros son históricos, es decir, recogen hechos pasados y sirven para analizar lo que ha ocurrido, entender el presente y predecir el futuro. La mayor parte de las decisiones que se toman hoy en la logística militar tienen como base la información histórica y el estudio de tendencias. Para el diseño de un buen mantenimiento predictivo es necesario contar con elementos que mejoren los modelos de forma semiautónoma. Para ello, hace falta contar con la inteligencia artificial y los algoritmos de *deep learning*. Se

trata por tanto de desplegar una serie de redes neuronales de inteligencia artificial en las que un elevado número de capas y nodos facilitan la resolución de problemas complejos que apoyan el aprendizaje no tutelado.

Existen dos ámbitos en los cuáles la inteligencia artificial juega un rol fundamental. El primero de ellos, asociado al mantenimiento predictivo, cuenta con los datos proporcionados por los sensores, en cuyo caso se aplican técnicas de *machine learning* para prever futuras averías. El segundo caso, también asociado al mantenimiento, se centra en el uso de datos provenientes de imágenes, dado que la inteligencia artificial permite utilizar redes neuronales para predecir averías mediante la detección de anomalías en representaciones gráficas, por ejemplo, explotando la información manuscrita de los partes cumplimentados por los especialistas; son las redes neuronales las que proporcionan la capacidad de leer y procesar el texto para inferir futuras roturas de cualquier tipo de maquinaria.

Para responder a los requisitos del mantenimiento predictivo se recurre a la combinación de redes neuronales recurrentes y convolucionales. Con esta aproximación se generan nuevos modelos para resolver cada problema particular. Lo primero de todo es disponer de suficientes «datos de calidad» para lanzar el proceso, almacenándolos de forma estructurada y jerarquizada. Mediante una adecuada minería de datos es posible definir las variables sobre las que se pretende actuar con el fin de identificar patrones de comportamiento y tendencias. Lo siguiente es definir un modelo al que se somete a una fase previa de entrenamiento comparándolo con uno ya probado o con el sistema real. Esto hace que se puedan generar nuevos datos que disparen alarmas de fallo cuando los indicadores excedan los límites preestablecidos.

El mantenimiento predictivo es posible gracias al uso de tecnologías como *Big Data*, Internet de las cosas (IoT) o de las cosas industriales (IIoT), el trabajo colaborativo en la nube y el proceso de grandes volúmenes de información, lo que afina las predicciones realizadas por el equipo respecto al comportamiento de sistemas complejos. Con la aplicación de los modelos propios del *machine learning* se pueden aprovechar los datos históricos, prever la eficiencia operativa o el tiempo de funcionamiento sin fallos, maximizar la vida útil, optimizar las tareas de mantenimiento preventivo e incrementar la disponibilidad a partir de la reducción de los tiempos de inactividad. Durante el periodo de validación de los modelos, pueden detectarse anomalías y correlaciones ocultas entre los patrones de trabajo.

El mantenimiento predictivo es especialmente necesario en sectores que emplean activos intensivos en uso y cuya parada no programada puede afectar de manera negativa al cumplimiento de la misión tal y como ocurre en sectores como defensa, seguridad, ferroviario, marítimo, aeronáutico, energético o en algunas cadenas de

fabricación. Mientras en la mayoría de los sectores el impacto suele ser económico, en el de defensa o seguridad una parada inesperada de un sistema puede tener consecuencias irreversibles para la soberanía nacional.

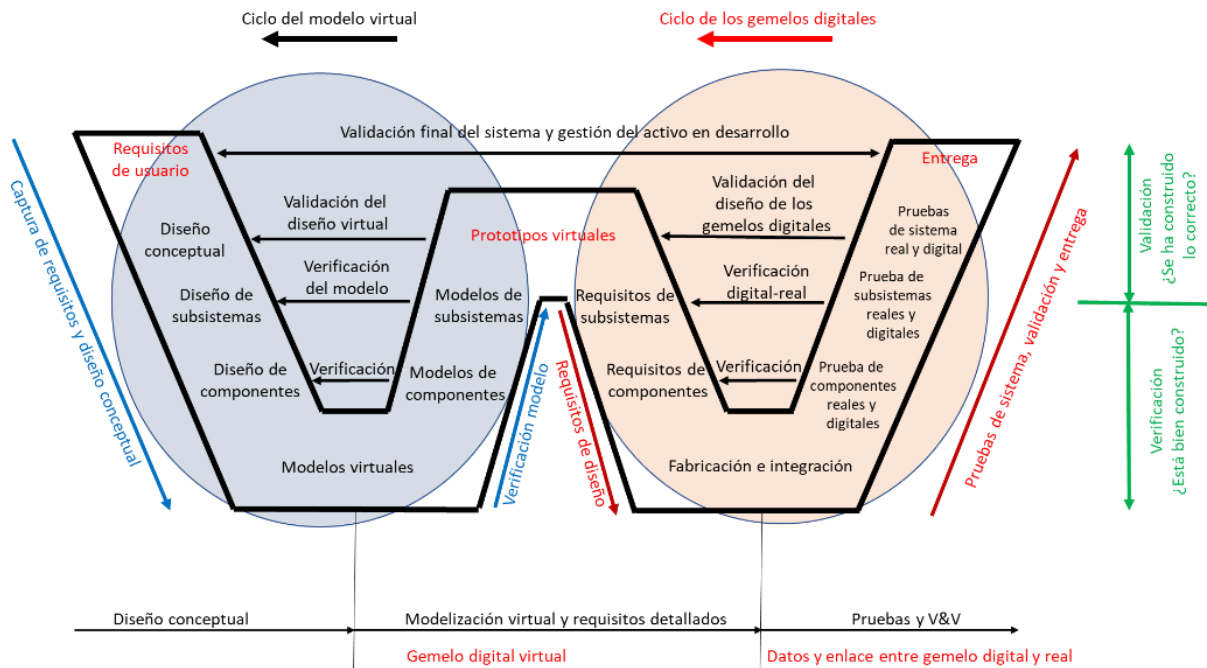
La hiperconectividad ha llegado al sector de la defensa y la seguridad para quedarse y revolucionar la gestión del ciclo de vida de los sistemas. El uso de nuevas tecnologías y la disponibilidad masiva de datos proporcionan un potencial desconocido hasta ahora. El responsable del ciclo de vida del sistema (u oficina de apoyo al ciclo de vida) puede contar con información útil en tiempo real. Por ejemplo, puede saber el estado de un carro de combate, cómo se comporta, a qué solicitudes está sometido, cómo actúa el conductor o cuánta munición queda en su santabárbara, pudiendo tomar decisiones para mejorar su disponibilidad.

Los datos del gestor del ciclo de vida pueden compartirse con los escalones superiores de la cadena logística y con los expertos (normalmente los fabricantes) quienes podrán tomar decisiones estratégicas sobre el empleo más eficiente del sistema, como puede ser la introducción de cambios en la documentación electrónica del sistema. El *data sharing* se convierte así en una poderosa herramienta que incrementa la eficacia, reduce significativamente los costes y mejora los futuros diseños. Sólo hay que superar dos obstáculos: asegurar que las redes de comunicaciones sean suficientemente robustas y capaces y mantenerlas dentro de los niveles de seguridad que en cada caso se precise.

En los próximos años, la computación cuántica revolucionará la forma en que procesamos y manejamos los datos y actúan los algoritmos. Esta tecnología utiliza los principios de la mecánica cuántica para procesar la información de manera más eficiente que los sistemas informáticos clásicos. El sector militar es una de las muchas áreas en las que se espera que la computación cuántica tenga un impacto significativo, pues los ordenadores cuánticos tienen el potencial de realizar cálculos que serían inmanejablemente difíciles, si no imposibles, para los ordenadores convencionales. Por ejemplo, pueden realizar tareas como el factorizado de números grandes y la búsqueda en grandes bases de datos de forma mucho más eficiente. En el sector militar, esta capacidad podría ser utilizada para analizar grandes volúmenes de datos de inteligencia y proporcionar información crítica de forma más rápida y precisa.

Uno de los casos de uso más prometedores de la computación cuántica en el sector militar es en el área de la simulación y el modelado. Los ordenadores cuánticos tienen la capacidad de simular sistemas complejos con un nivel de precisión que los ordenadores convencionales simplemente no pueden igualar. En un contexto tan exigente, podría aplicarse a la simulación de escenarios de batalla y probar estrategias logísticas antes de que se produzca el despliegue. También podría ser

usado para modelar el rendimiento de nuevos equipos y tecnologías bajo una variedad de condiciones. ser utilizados para simular estos sistemas y ayudar a optimizar su diseño y rendimiento. Tal es el caso del gemelo digital, un concepto que permite virtualizar los sistemas físicos para mejorar el rendimiento, probar nuevas funcionalidades o realizar análisis forense sin necesidad de alterar el sistema físico.



En resumen, la computación cuántica tiene el potencial de proporcionar una serie de beneficios en el sector militar, desde el procesamiento de datos hasta la criptografía y la simulación. Aunque esta tecnología aún está en sus primeras etapas de desarrollo, ya está demostrando ser una herramienta valiosa para las Fuerzas Armadas.

Nota: Las ideas y opiniones contenidas en este documento son de responsabilidad del autor, sin que reflejen, necesariamente, el pensamiento de la Academia de las Ciencias y las Artes Militares.

© Academia de las Ciencias y las Artes Militares - 2024