



ACADEMIA DE LAS CIENCIAS
Y LAS ARTES MILITARES

Comunicaciones académicas

Posibles tendencias a considerar en el sostenimiento de operaciones militares en coalición

Francisco J. Gómez Ramos

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

20 de abril de 2025

Planteamiento del problema

Recientemente, el *NATO STO Research Task Group* ha concluido y presentado un estudio denominado *Coalition Sustainment Interoperability Study*. Consecuentemente se ha presentado un informe que pretende vislumbrar los principales desafíos a los que se enfrentará el sostenimiento de las fuerzas en coalición, hasta el nivel de pequeñas unidades, en los futuros cambiantes escenarios. Así como el empleo óptimo de nuevas metodologías y herramientas, muchas de las cuales ya se encuentran a disposición de poder ser usadas. Entre ellas cabe tener en cuenta: el ML (*Machine Learning*), la IA (Inteligencia Artificial) o la FA (Fabricación aditiva) y la impresión 3-D. Además de procurar beneficiarse de un uso extensivo del M&S y de los Gemelos Digitales.

Se han fijados los siguientes objetivos de ese estudio:

1. Describir la principal dirección estratégica para cada participante en una coalición en relación con los conceptos de la operación para el sostenimiento de pequeñas unidades, tanto actuales, como futuros.

2. Extraer las principales metodologías actualmente accesibles para llevar a cabo las operaciones de reavituallamiento táctico en un entorno complejo de coalición y realizar una crítica constructiva de la situación actual.
3. Identificar las tecnologías basadas en la IA y el ML que puedan ser de aplicación en estas operaciones a corto y medio plazo
4. Describir las consecuencias que tendría la potencial puesta en práctica de esas tecnologías IA/ML para conseguir la mejora del sostenimiento de pequeñas unidades cubriendo las dos próximas generaciones de desarrollos tecnológicos.
5. Identificar las condiciones clave de la coalición y la implementación de los conceptos que facilitarán su implantación en operaciones futuras.

Ese estudio se ha enfocado principalmente en aprovechar la experiencia que ya han adquirido las diversas naciones participantes en el grupo en la implantación de herramientas basadas en IA a este problema.

Las consecuencias serán el trazar el desarrollo de futura normativa (STANAGs y otra documentación OTAN), el entendimiento de las futuras capacidades y tecnologías deseables que puedan desarrollarse colectivamente y la identificación de interfaces y *lo middlewares* necesarios. Todo con el fin de lograr la necesaria interoperabilidad. Así como, fijar una priorización de los desarrollos, de modo que se determinen aquellos que deben de buscarse a corto plazo y aquellas tendencias a seguir a medio y largo plazo.



Hoy en día los sistemas de automatización logística son algo más que una tendencia o una moda, son una necesidad. Fuente. 123RF

En definitiva, el estudio pretende desarrollar un marco de referencia conceptual que permita utilizar la IA y otras tecnologías disruptivas en la planificación y seguimiento de operaciones de sostenimiento en los escalones más bajos de mantenimiento de pequeñas unidades terrestres integradas en una coalición formada por naciones de la Alianza.

El estudio se ha enfocado (aunque no se ha limitado) a los sistemas que generan información y la gestión de los suministros desde que se efectúa la petición hasta el seguimiento de los mismos y el avituallamiento y control de estado en las pequeñas unidades. La intención es utilizar este estudio en el seguimiento de proyectos que busquen desarrollar sistemas, metodologías o nuevas capacidades que utilicen la IA para aprovechar y emplear eficazmente las numerosas tecnologías emergentes en operaciones de mantenimiento y sostenimiento en un campo de batalla en el que actúe una coalición de la Alianza, llegando hasta el nivel de pequeñas unidades en el dominio terrestre.

Los sistemas analizados han incluido desde el diseño de nuevos camiones más eficientes y otros sistemas de avituallamiento, como el empleo de medios aéreos o terrestres no tripulados para efectuar el suministro, la potencial dotación a las unidades de sistemas de fabricación aditiva e impresoras 3D y el empleo de técnicas IA/ML, M&S, así como, estudiar los pros y contras de cada uno de ellos.

No cabe duda que todo ello deberá realizarse no sólo en escenarios actuales bien conocidos y definidos, sino también en los que previsiblemente emergerán, sobre todo, aquellos inmersos en una situación de vulnerabilidad ante ciber amenazas o en entornos de guerra híbrida. También considera el en el estudio el caso de un posible decaimiento del liderazgo de los EEUU en las operaciones y la adaptación a operaciones multidominio (incluyendo el espacio y el ciberespacio. Así como, el aumento del protagonismo del combate urbano, que puede considerarse el escenario más complejo). También se deben tener en cuenta la tendencia actual en los recortes de personal en los ejércitos y la tendencia al empleo de más unidades pequeñas descentralizadas.

Empleo eficaz de la IA

El informe destaca que la implantación de la IA y tecnologías adyacentes requiere:

- El empleo de la IA colaborativa entre humanos.
- El tener en cuenta enfoques de IA híbridos.
- La mejor emulación de las funciones cognitivas humanas.
- Un enfoque holístico de la IA en el campo de batalla.

Para facilitar cualquier aplicación de IA se requiere de la disposición de un número ingente de datos, que deben ser fiables, útiles, no degradables en el proceso y por tanto adecuadamente almacenables y disponibles en el momento adecuado.

Debe considerarse en cada situación los datos que sean necesarios por cada nación. Estos son ya de por sí complejos y, por lo tanto, los datos dentro de una coalición son aún más complejos, por lo que se deberá estudiar la estructura más adecuada para un empleo eficaz y eficiente de los mismos.

Se deben considerar diferentes factores para configurar un sistema que sea viable. Por ejemplo, los factores críticos son el verificar qué datos deberán ser propietarios de la Coalición, el establecimiento de un lenguaje común para la gestión de los mismos, la interoperabilidad de las conexiones físicas, técnicas y de software, así como, identificar qué bases de datos, servidores o redes informáticas se pueden compartir y cuáles deberían ser puestas bajo el exclusivo control del mando de la coalición.

En primer lugar, los datos deben existir y estar disponibles para gestionarlos adecuadamente. Deben recopilarse, agregarse, transportarse y almacenarse en algún lugar, que debe cumplir unos requisitos que se deben definir. Además, deben ser accesibles y utilizables de una forma adecuada por las diferentes funciones y agentes que los necesiten y en el instante correcto. Adicionalmente, los datos deben tener un significado claro que no lleve a ambigüedades o que genere confusión en su empleo.

Habrà de tenerse en cuenta que los datos no crean conocimiento sin ser contemplados en un contexto. (Por ejemplo, el nivel de combustible de un camión puede no significar nada a menos que también se conozca su misión y la disponibilidad de combustible en ruta).

En el caso de una coalición de naciones los datos deben trascender fronteras para ser útiles en aplicaciones precisas de la IA. El almacenamiento de datos en una ubicación común y accesible se ha denominado de diversas maneras, como, *base de datos*, *repositorio de datos*, *la nube*, *lago de datos*, y el término más reciente es «estructura de datos». Por lo que, incluso en el empleo del lenguaje deberá acordarse un entendimiento preciso y común de sus significados, que precise la diferencia entre diferentes términos si es que ésta existe.

Resulta esencial en el diseño el tener en cuenta que para un comandante que debe tomar una decisión crucial en el campo de batalla, un exceso de datos puede ser tan perjudicial como una escasez de los mismos. Informes, imágenes, tráfico de mensajes sin procesar y otros contenidos llegan a través de diferentes aplicaciones y compiten por captar su atención. Mientras tanto, la información que necesita quien

toma las decisiones puede estar escondida en otro archivo digital aún por descubrir o decodificar. El empleo de herramientas como la conocida como *Visual Analytics* que incorpore filtros y medios de representación adecuados, puede resultar de gran ayuda en el proceso de toma de decisiones.

Empleo de Gemelos Digitales en Logística

Los modelos de simulación pueden contribuir también a la ayuda a la toma de decisiones en logística, ya que permiten responder preguntas hipotéticas como ¿Cuál sería el resultado en combate si se utiliza esta acción específica de reabastecimiento u otra?

Por lo tanto, estos modelos podrían ser utilizados para la planificación logística. Además, para la automatización de la planificación logística, estos modelos son necesarios, ya que, para los optimizadores (basados en IA), es necesario conocer el efecto esperado de determinadas acciones para poder optimizarlas. Por ejemplo, es una tecnología de IA reconocida el aprendizaje de refuerzo que requiere ponderar muy positivamente las acciones que llevan a resultados exitosos.

Un sistema complejo (físico, conceptual, etc.) se divide en numerosos elementos modelados que se anidan en el sistema. El modelo recibe las mismas entradas, condiciones operativas e información contextual que el sistema real. Posteriormente, a medida que el sistema real experimenta fallos u otras salidas, se van actualizando los subcomponentes relevantes del gemelo digital. Al implementar esta práctica en una flota de sistemas similares, el modelo holístico se vuelve más preciso y proporciona predicciones más útiles, a la vez que cada modelo discreto de cada sistema se ajusta con mayor precisión a su estado específico y a las potenciales situaciones reales. Ello lleva a la aplicación adecuada de principios de *Machine Learning*.

El gemelo digital podría ser útil para numerosas aplicaciones de predicción de soluciones útiles de sostenimiento.

- Predicción de problemas de mantenimiento.
- Creación de una estimación de mantenimiento a lo largo del tiempo para prácticamente cualquier suministro consumible (alimentos, agua, municiones, etc.).
- Permitir llevar a cabo el seguimiento sin conexión del estado de una unidad en el tiempo tanto en hombres como en equipos y consumibles. Los GD pueden predecir el estado en tiempo real, incluso mientras la unidad está en estado de inactividad. Los modelos se actualizan cuando se producen

ráfagas de información crítica, lo que minimiza las comunicaciones y aumenta la seguridad de la información.

Las tecnologías de Gemelo Digital son útiles no solo para sistemas hardware, sino también para el modelado de sistemas de formación. En esta forma de aplicación, se pueden modelar formaciones completas para incluir capacidades, entradas, salidas, factores de estrés, condiciones de egreso etc., y se pueden utilizar para predecir y rastrear la preparación y los requisitos de la formación y los objetivos buscados. Este gemelo digital para la definición de la formación puede entonces tener en su seno los gemelos digitales anidados de apoyo a nivel de sistema (como armas y vehículos) para proporcionar una imagen más completa. En este campo el empleo de la simulación interactiva LVC (*Live Virtual Constructive*) puede ser considerada como útil para el logro de los objetivos buscados e incluso para el desarrollo de herramientas o la búsqueda de nuevos conceptos mediante el empleo de CD&E (*Concept Development and Experimentation*).

La información que aportan los sensores que llevan los soldados se debe convertir en un componente importante a medida que las tecnologías evolucionen, registrando los parámetros vitales y el estrés de cada soldado. Asimismo, se deberá cuidar la calidad y utilidad de la información adquirida por sensores de espectro global del campo de batalla.

El metaverso

Otro elemento a considerar es la visión amplia en el dominio del metaverso.

El metaverso puede describirse como el siguiente nivel de internet y una red que nos conecta con el mundo virtual. También se ha descrito como mundos 3D compartidos que interactúan, son *inmersivos* y cooperan entre sí.

En él se pueden incorporar diversas tecnologías, ya que el término no se encuentra todavía estrictamente definido. Algunas de estas tecnologías incluyen la realidad virtual (VR, por sus siglas en inglés) y la realidad aumentada (AR).

El potencial real del metaverso no se conoce total y definitivamente, ya que, el concepto y el sistema se encuentra todavía en desarrollo por diversas empresas que compiten entre ellas para ser las primeras en presentar resultados que sean realmente útiles y con un potencial desarrollo futuro.

Es previsible la generación de un metaverso específicamente «militar» que se ponga a disposición de las naciones y de la Alianza. De hecho, las posibilidades de simular con VR ya se han empleado ampliamente en formación, adiestramiento,

diseño e ingeniería. Desde la ayuda al diseño o empleo de productos individuales a la gestión del tráfico de ciudades o la ayuda a los cirujanos en intervenciones complicadas. Lo mismo que en el planeamiento logístico en aspectos concretos como el control de stocks y de suministros.

Aunque hay que tener en cuenta que la interacción entre el suministrador y el usuario resultará fundamental, pues ésta influye de forma sustancial en la definición de los requisitos y por tanto en los desarrollos que deberán de un modo optimizado podrán llevarse a cabo.

La simulación y optimización de flujos logísticos, el modelado virtual del despliegue óptimo de tropas, la gestión de gemelos digitales en operaciones de mantenimiento, la planificación de la logística interna de nuevos almacenes y el entrenamiento y la operación de sistemas autónomos en realidad virtual son/serán ejemplos de la implementación del metaverso en la logística militar. En general, un aspecto crucial es la transparencia. El uso del metaverso y los gemelos digitales mejora la transparencia en la logística militar y, a través de ello, genera una mejor visión operativa tanto de conjunto, como de aspectos específicos. Condiciones de seguridad favorecen el desarrollo específico del metaverso militar que se ha mencionado.



El metaverso ofrece multitud de posibilidades incluyendo el dominio logístico. (Fuente www.mecalux.es)

Conclusiones del estudio

El «Estudio de Interoperabilidad de la Coalición» que ha finalizado recientemente el grupo de la STO, SAS-168 ofrece un enfoque operativo integral para considerar

los beneficios de la utilización de la IA y las tecnologías asociadas con el fin de mejorar la interoperabilidad en el sostenimiento de pequeñas unidades terrestres en operaciones de coalición.

Recomienda el llevar a cabo un enfoque inteligente para el progreso planificado del sostenimiento de las coaliciones, la estandarización temprana de conceptos operativos y arquitecturas de datos, y pequeñas iniciativas de colaboración específicas para establecer una base para futuras iniciativas integrales que se consideran como acciones muy positivas y necesarias para el éxito futuro de las operaciones en coalición.

El aprendizaje colaborativo y los proyectos específicos permitirán a las naciones integrantes de la coalición el aprovechar la experiencia colectiva, perfeccionar las soluciones de interoperabilidad y mejorar continuamente las operaciones de sostenimiento. Al implementar estas recomendaciones, las fuerzas de la coalición pueden lograr una mayor eficiencia y eficacia operativa, lo que en última instancia mejorará el éxito de las misiones en los entornos operativos futuros que se vislumbran a corto y medio plazo y particularmente en los escenarios urbanos, incluyendo el subsuelo, que se consideran como los más complicados.

Otras conclusiones

Ya fuera del estudio del SAS-168, el autor de esta comunicación considera que habrá que tener en cuenta otros considerandos en las futuras operaciones en coalición. Por ejemplo, como el desarrollo de nuevos combustibles sintéticos puede afectar a la Política OTAN de empleo de un combustible único.

En los últimos tiempos se ha visto cómo en el ámbito militar crece el interés por el empleo de combustibles y aditivos sintéticos, tanto en los dominios terrestre, como, marítimo y aéreo. Hasta ahora los estudios de desarrollo y viabilidad, de ese empleo han sido llevados a cabo de una forma independiente por corporaciones empresariales y naciones, lo que requiere que se lleven ahora a cabo estudios de interoperabilidad de su empleo en los sistemas y la logística de las diversas naciones de la Alianza, sobre todo para su empleo en operaciones conjuntas. El grupo STO-TR-AVT-309, también ha llevado a cabo un estudio de los posibles caminos a seguir para la consecución de esa interoperabilidad y así paliar los potenciales problemas de sostenimiento que pudieran ocasionarse con su generalización, sin que previamente se determinara una política de empleo, pues afectaría a la *Single Fuel Policy* (SFP) de la OTAN que favorece el empleo en términos generales de un único combustible.

Otra consideración es la creciente importancia que se da al empleo del M&S y en particular en sistemas de simulación LVC, que ya adelantó en comunicaciones anteriores, pero que se ha abierto aún más con la interacción con nuevas herramientas asociadas a la IA y que se verá aún más potenciada con el desarrollo de sistemas de cálculo más potentes como la computación cuántica que elevará exponencialmente el número y complejidad de sus escenarios de aplicación.

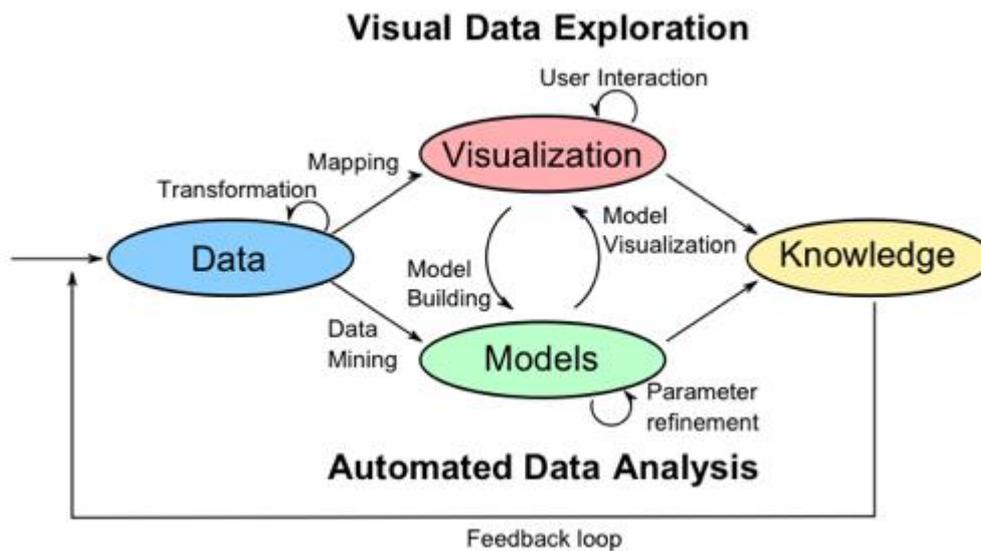


Diagrama del proceso de análisis visual.

Por último, quiere recordar otras tecnologías y herramientas no mencionadas en el estudio y que pueden ser muy útiles también en la planificación y el desarrollo de operaciones logísticas, como son, el *Data Farming*, para la generación sintética de datos, o el *Visual Analytics*, para optimizar la presentación de la información a los centros y agentes decisorios. Estos podrán ser objeto de comunicaciones futuras. ■

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 - 2025