

Nuevos retos en el dominio del modelado y la simulación

Hacia una nueva generación de entornos de combate sintéticos y de arquitecturas de simulación

Francisco José Gómez Ramos
Academia de las Ciencias y las Artes Militares
Sección de Prospectiva de la Tecnología Militar

26 de marzo de 2021

El modelado y simulación (M&S) es una disciplina que se ha aplicado con éxito en el contexto del desarrollo de nuevas soluciones: comprobando la interacción entre sistemas, y entre la evolución de estos y el estado de sus componentes; y también facilitando el entrenamiento de sus operadores. Pero sobre todo encontró su campo de aplicación más atractivo y efectivo en la «Simulación Distribuida», en la que varios sistemas de simulación operados (o no) por operadores distintos compartían un mismo escenario común e interactuaban entre sí de modo análogo a como lo harían si ese escenario fuera una parte del mundo real.

Desde el fin de la década de los 70 del siglo pasado se ha promocionado el ir avanzando en su desarrollo mediante la reutilización de soluciones ya aplicadas con éxito y se ha desarrollado asimismo una amplia normativa técnica para facilitar la interoperabilidad de los sistemas M&S (entendida aquí como la capacidad de intercambiar datos y de hacer un uso eficiente de ellos por el receptor), como las arquitecturas de alto nivel (HLA, IEEE 1516) o la IEEE1278 que definen la Simulación Interactiva Distribuida (DIS) y que se recoge asimismo en el STANAG 4603. El estándar HLA se ha convertido en un factor efectivo para la mejora continua de la interoperabilidad en las coaliciones de fuerzas, con normas que se van reevaluando y poniendo al día continuamente.

El concepto DIS se originó a partir de SIMNET (redes de simuladores) en la década de los 80, mientras que las ideas y conceptos que impulsaron el HLA se desarrollaron a finales de esa década y comienzos de la siguiente. Algunas mejoras se han implantado con posterioridad, como la del soporte basado en web –y más recientemente también el basado en la *nube*- que se ha acompañado asimismo de otras mejoras que han supuesto un intercambio de información más flexible entre sistemas de simulación y de estos con sistemas de mando y control (C2) e incluso sistemas reales (*live*), lo que ha permitido mediante la aplicación de *middleware* del desarrollo de «entornos de simulación» LVC (constituidas con «arquitecturas distribuidas» a las que se adaptan elementos *Live, Virtual and Constructive*) en los

que los sistemas no sólo interactúan a través de los datos, sino que se integran en una jerarquía superior; y que acompañados del aumento exponencial de las capacidades de cálculo, memoria y velocidad de los ordenadores personales, ha popularizado su empleo y ha ayudado a desarrollar conceptos de aplicación del M&S a dominios como la preparación o análisis de la misión, entrenamiento, CD&E, *serious games*...etc.

Sin salir de este paradigma, las tendencias de I+D+i se dirigen hacia la mejora de las interfaces de los simuladores y a mejora de interoperabilidad: uso de nuevos estándares, HLA 4/C2-SIM/UCaTT, con nuevos procesos de certificación: *integration verification and certification tool* (IVCT). Aunque un nuevo paradigma se está consolidando buscando una mayor flexibilidad y oportunidad en la prestación de servicios de simulación, hasta el punto de considerar a la propia simulación en su conjunto como un servicio, el MSaaS.

Vemos pues como el estado del arte actual de la Arquitectura de la simulación distribuida LVC ha garantizado el éxito en su aplicación a los sistemas actuales e incluso a sistemas de sistemas (SoS). Sin embargo, los retos que el avance tecnológico actual plantea a su propia simulación parecen ineludiblemente encaminarse al fracaso si se pretenden abordar con los servicios y arquitecturas existentes.

Nuevos retos llevan a plantear nuevas arquitecturas.

Los retos que recientemente plantea la ingeniería de sistemas como la aplicación de internet de las cosas (IoT), las iniciativas en apoyo del desarrollo de la industria 4.0, el desarrollo y los ensayos de sistemas ciber-físicos o la ya nueva generación de sistemas de defensa con importantes mejoras en el hardware de los equipos y gran incremento en el ancho de banda de las telecomunicaciones, y que integran avances en dominios de tan rápida evolución actualmente como, el *BigData*, la IA (Inteligencia Artificial), el *Cloud Computing* o la RV (Realidad Virtual), hacen que se estén alcanzando los límites de los principios y conceptos en los que se ha basado la simulación distribuida hasta ahora.

Como se ve, entre estos retos se encuentra un incremento sustancial del volumen de datos a procesar, pues los sistemas a modelar son ya de por sí redes e incluso SoS (IoT, Industria 4.0...); también hay que enfrentarse a una diversificación de los tipos de sistemas que deben modelarse, que cuentan además con una ingente cantidad de sensores y vías y canales de comunicación variadas y replicadas entre sistemas y con los operadores humanos y una variedad asimismo de estos últimos en su modo de operar y transmitir la información («multimodalidad», o comunicación en la que intervienen múltiples modos y soportes, incluyendo los

humanos -tonos de voz o los aspectos gesturales- y todo tipo de comunicación no normalizada).

Hay que tener en cuenta que, los sistemas actuales de intercambio de información se basan en medios que soportan una estructura común («protocolos de datos» como el de DIS o los «objetos» que se definen en el modelo de datos de la federación HLA), no habiéndose aún contemplado suficientemente casos de multimodalidad. Los actuales estándares de interoperabilidad se introdujeron hace más de una década y se han desarrollado con posterioridad nuevos métodos y herramientas que pretenden superar los retos que impone el tratar con SoS y el advenimiento de disciplinas como la *Ingeniería de Sistemas Complejos* (Mittal, S., Diallo, S.Y., and Tolk, A. *Emergent Behavior in Complex Systems Engineering: A Modeling and Simulation Approach*. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, 2018).

Los nuevos escenarios también reclaman nuevos entornos sintéticos.

Pero además de estos cambios inherentes a los propios sistemas y sus modos de interconexión entre ellos (incluyendo la propia complejidad del interfaz humano y su multimodalidad), hay que tener en cuenta que también se han vuelto cada vez más complejas las operaciones para cuyo fin se incorporan estos sistemas y que definen el «escenario operativo», y el correspondiente entorno sintético que lo represente, dependiendo de la aplicación concreta que se considere.

Como una consecuencia de la transición desde la «internacionalización a la globalización», ya no existe una preocupación tan acentuada por los modos de combate convencionales, que parecen quedar relegados a algunas zonas limitadas del planeta (la zona “gris”) y que pueden gestionarse de forma suficientemente adecuada por las arquitecturas y sistemas actuales. Pero han surgido entornos operativos bastante más complejos que los tradicionales y mucho más preocupantes. Baste mencionar: la «guerra híbrida» (tanto a nivel político, como, el diplomático o el económico) y cuyo desarrollo se ha potenciado por el acceso de actores no gubernamentales a tecnologías como el IoT o la IA. La «guerra en escenarios urbanos» (tanto en superficie como en edificios elevados o en el subsuelo, y la dificultad con el crecimiento de las urbes de controlar los accesos, entradas y salidas a esos núcleos), que parece demandar avances en el uso de sistemas autónomos y de IA que puedan equilibrar la desigualdad en la aplicación de principios éticos que el enemigo no parece respetar. La solución parece demandar el empleo por las fuerzas propias de ciber-guerreros, que también incorporan una dimensión ética en su potencial empleo, pero sobre todo, la

«digitalización» que se convierte en la llave maestra que permitirá analizar y pilotar todo ese ¿aparente? galimatías.

El tratamiento de esos nuevos escenarios requiere el contemplar un amplio espectro de temas: «ciberoperaciones», operaciones de influencia/(des) información, espaciales, empleo de sistemas autónomos, C4ISR en apoyo a la toma de decisiones, establecimiento de modelos de comportamiento humano (individual, colectivo y social), influencia de las condiciones climáticas en el desarrollo de las operaciones..., cuyo tratamiento individualmente considerado ya es de por sí bastante complejo.

Aunque el mundo de la simulación ha expresado ya su interés en evolucionar hacia el aprovechamiento de los sistemas distribuidos y su infraestructura -como en la oferta de servicios basados en la nube para apoyar el planeamiento, conducción y evaluación de operaciones complejas en entornos también complejos- (Cayirci, E. *Modeling and Simulation as a Cloud Service: A Survey*. Proceedings of the Winter Simulation Conference. IEEE, Piscataway, New Jersey, pp. 389–400, 2013), o en el desarrollo del concepto de la oferta de la simulación como un servicio (MaSaaS), incluyendo un empleo más extensivo de conceptos relacionado con el IoT y la Industria 4.0, estas tendencias aún no se han plasmado en normativa, lo que está retrasando su desarrollo.

Soluciones a corto/medio plazo.

Una primera propuesta de circunstancias para afrontar estas limitaciones se materializa en la migración a la nube de los sistemas actualmente existentes acompañándola de la instauración de servicios centralizados y reusables. No obstante, las aplicaciones monolíticas que resultan son demasiado grandes y no aprovechan las ventajas que proporciona la provisión de *microservicios*; además, resulta prácticamente imposible el evolucionar o cambiar el comportamiento específico para el que se desarrollaron, por lo que no parece que esa pueda considerarse una solución eficiente a medio/largo plazo.

Una previsible evolución a medio plazo es mantener los sistemas, basados en componentes, en la nube, desde donde también se proveerán los servicios, y el desarrollo de una arquitectura de servicios periféricos que se proyectan hacia datos, usando microservicios. Ejemplos de estos son: armas (modelos de trayectorias), efectos (daños) dinámica de los terrenos, meteorología, almacenamiento y registro de datos..., y los servicios de mediación (HLA-C2, DIS-HLA). Los microservicios asociados a las entidades y sus componentes incluirán: movimientos y tránsitos, modelos de comportamiento, nivel de daños y comportamiento tras ser dañados (destrucción de objetos, cráteres que alteran la

movilidad...) y cuya mejora en la modelización, implantación y visualización en determinadas aplicaciones se intuye ahora cada vez más necesaria.

Asimismo, mientras que hasta ahora la simulación y la generación de entornos sintéticos se ha polarizado en los efectos físicos de las acciones de combate, una aproximación más realista a los nuevos escenarios planteados y a sus correspondientes campos de batalla sintéticos debe incluir una mejora sustancial de otros aspectos de las operaciones, incluyendo las operaciones de información (capacidad de denegar, degradar, corromper o destruir las fuentes de información del enemigo), así como mejorar el detalle de componentes y entidades, tales como, infraestructuras, logística, interacción humana e interacción con la población.

Todas estas tendencias parecen consolidar la general de abandonar las simulaciones monolíticas para encaminarse a arquitecturas que representen el campo de batalla, que descansen más en sus componentes y que se basen en modelos de las comunicaciones por capas en el que la información pueda manipularse en las diferentes etapas de su cadena de transmisión.



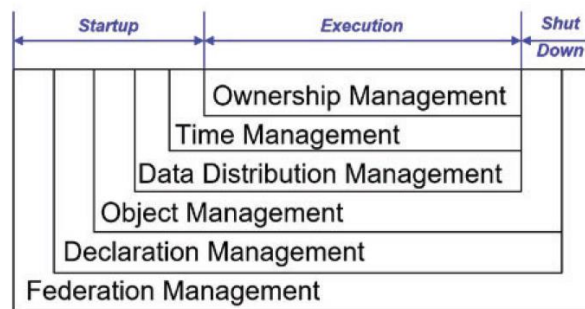
Una solución a más largo plazo con un cambio total de paradigma.

Cuando se buscan soluciones a medio/largo plazo, se están empezando a plantear soluciones más innovadoras que reclaman un cambio sustancial de la infraestructura de simulación incluyendo su arquitectura, que tendrá que adaptarse para satisfacer cinco pilares en su diseño: escalabilidad, flexibilidad, adaptabilidad, modularidad y reconfigurabilidad.

Así se observa en la que se está empezando a desarrollar en el proyecto «Entorno de Simulación Conjunto» (JSE en inglés) para la USAF, en la que se podrán incorporar las nuevas tecnologías de modo que se puedan acomodar fácilmente a los rápidos cambios y evoluciones que se producirán en las mismas.

Para ser eficiente, su arquitectura deberá asegurar que se suministre toda la información necesaria para los servicios de simulación; que sólo sea la necesaria y que se suministre de forma segura y en el instante que se necesite.

Adicionalmente se debe requerir cierto nivel de reusabilidad para aprovechar la tecnología existente (Por ejemplo, el Dr. Andreas Tolk avanza que la RTI (*Runtime* de la HLA) proporciona útiles guías para el desarrollo conceptual (Tolk, A., Valverde, O. y Clapis, J., *A New Simulation Infrastructure Supporting the Next Generation of Simulation-Based Testing and Training Applications*. STO-MP-MSG-171, 2018). Ese criterio guiará también las entradas y salidas de la federación usando funciones definidas en la RTI, que introdujo ya conceptos innovadores, como el empleo de una plantilla para el modelo de objetos que permite el empleo de la misma arquitectura para dominios de aplicación muy diferentes; aunque el coste de esta flexibilidad fue la necesidad de acordar la semántica de los datos que se intercambian mediante procesos administrativos que hay que añadir a la definición. La RTI proporciona funciones en apoyo de seis categorías de servicios como se muestra en la figura siguiente.



Servicios suministrados por la RTI de la HLA (IEEE 1516)

Mientras que otras soluciones para la interoperabilidad, como DIS, ALSP y TENA usan todos objetos de intercambio de información normalizados, la RTI utiliza, como ya se ha mencionado, la «plantilla del modelo de objetos», lo que permite declarar y compartir cualquier porción de información cuando se acuerda entre los participantes en la federación, lo que simplifica el esquema general de los procesos a considerar y se satisfacen los requisitos de eficiencia adelantados. (Un desarrollo puede verse en, Morse, K.L., Drake, D.L., and Brunton, R.P. *Web enabling HLA compliant simulations to support network centric applications*. Technical Report, Science Applications International Corporation, San Diego, California, 2004).

Con este concepto, se consigue que esa infraestructura de simulación sea rápida, segura y esté preparada para incorporar sistemas multimodales que requirieran un intercambio intensivo de datos al realizar tareas tanto de experimentación, como de prototipado rápido. Para ello, los estudios conceptuales han llevado a la definición, como núcleo del desarrollo de esa infraestructura de simulación, de una «Matriz de Servicios de Intercambio de Información» (MSII, o IESM en inglés), a la que se acompaña una serie de «servicios de soporte».

La Matriz de Servicios de Intercambio de Información (MSII).

La MSII se diseña como la composición de un núcleo de servicios que constituye un gran canal para los sistemas multimodales con uso intensivo de datos y sus simulaciones, simuladores y entornos sintéticos. Los requisitos que se han derivado de ese estudio conceptual incluyen: la capacidad de interactuar con sistemas reales, suministrar servicios esenciales de simulación para la gestión temporal, comunicaciones, y transformación de los datos a través de múltiples escenarios de dominios con una variedad también de condiciones atmosféricas que permitan diversas configuraciones y su correspondiente orquestación (prescindiendo con ello de la presencia de especialistas en simulación para llevar a cabo los ejercicios) facilitando el registro de los datos y su análisis; y soluciones distintas que pueden tener niveles de seguridad diferentes.

Para conseguir poner en práctica todos esos requisitos que se han indicado, se ha identificado como mejor solución la posibilidad de emplear servicios que posibiliten su composición, permitiendo a los desarrolladores el incluir o retirarlos conforme se les necesite. Además, esto posibilitará el contar con funcionalidades análogas incluso con servicios que tengan rangos o resoluciones diferentes, e incluso apoyar sistemas de simulación que trabajen bajo paradigmas distintos. Además, cuando aparezcan condiciones o tecnologías nuevas, incluso disruptivas, para implementarlas sólo habrá que poner al día aquellos servicios que sean afectados por esos cambios de condiciones, facilitándose con ello una rápida y eficiente adaptación de la solución a las nuevas tareas, escenarios, entornos, misiones o amenazas. Los servicios se diseñarán de una forma modular, de modo que podrán recombinarse o separarse basándose en principios de falta de acoplamiento en el dominio técnico y de capacidad de recomposición en el dominio de los conceptos.

Quedan por identificar las categorías de los servicios que se asociarán a la MSII, que son los que proporcionaran la funcionalidad al canal central de transmisión de la información (CCTI), y los sistemas existentes se identifican también como servicios: «Servicios comunes» que facilitan la justa competencia en la composición de esos servicios, y los «Servicios de ejercicios» que proporcionan ayuda para su establecimiento, operación y evaluación del evento de simulación. Como se

interconectan a través de la MSII, estos se referencian también como «Servicios periféricos» y proporcionan la funcionalidad que se precisa por parte de los operadores militares para el entrenamiento, las pruebas y el análisis.

Se han identificado así cuatro categorías de servicios, los que constituyen el «núcleo», que proporcionan la funcionalidad para llevar a cabo la composición de los otros servicios; los «comunes», que proporcionan la funcionalidad para asegurar la justa competencia o un análisis justo (lo que requiere que haya efectos comunes); los de «ejercicios» que proporcionan la funcionalidad para montar, llevar a cabo y analizar el ejercicio específico a simular, proporcionan interfaces intuitivas abstrayendo los complejos detalles técnicos y también permiten registrar toda la secuencia y recuperar para cualquier análisis posterior que se requiera; y los «periféricos» que proporcionan la funcionalidad operativa que se requiera en cada caso (misiones, sistemas, efectos especiales,...). Los diversos servicios que soportan se pueden identificar en la figura anexa.



Arquitectura de una Infraestructura de simulación con MSII (IESM)

Los servicios comunes se pueden gestionar empleando conceptos ya implantados, como SEDRIS (Stüber, R. *SEDRIS on the Test Bench – The Future of Exchanging Environmental Data to become Part of M&S as a Service (MSaaS)*. Proceedings of NATO MSG Symposium, NATO Report STO-MP-MSG-149, Paper 16, Lisbon, Portugal, 2017) que se ha desarrollado para su empleo en el concepto MSaaS. En vez de utilizar la representación original que proporciona cada uno de los sistemas, se utiliza por el contrario una implementación común para que así no se afecten los resultados por el modo particular en que cada sistema calcula los efectos. El

empleo de servicios comunes requerirá muy probablemente de alterar los códigos fuentes originales de los sistemas, sobre todo si son antiguos y tienen un diseño de código monolítico. Los modulares son más fáciles de adaptar.

A las tres primeras categorías de servicios de la MSII también le serán de aplicación el concepto de recomponibilidad. El concepto de servicios recomponibles debe entenderse también desde la perspectiva de la reusabilidad de partes de las soluciones que proporciona la infraestructura actual y que como se ha dicho, pueden basarse en implementaciones de la RTI (por ejemplo, herramientas de revisión post-ejercicio que se han mostrado muy eficaces). Desde esta perspectiva, es donde puede decir que, en determinados aspectos, esta solución JSE es más una evolución que una auténtica revolución.

Funcionalidades más elevadas, como la intermediación de datos que facilita el intercambio de información entre los sistemas que participan (que a su vez pueden tener una visión distinta de esos datos que se intercambian) pueden proporcionarse mediante interacción entre estos servicios.

Aspectos que requieren un tratamiento y análisis más en profundidad son, sin embargo, los relacionados con la forma en llevar a cabo el acoplamiento de los servicios o el alineamiento conceptual, que se relaciona con la interoperabilidad.

Resumen y conclusión.

En resumen, los desarrollos de ingeniería de sistemas en IoT, Industria 4.0 o sistemas Ciber-Físicos, utilizan un número de datos significativamente mayor que los que requieren las soluciones actuales y además presentan multi-modalidad en su operación y un aumento de las operaciones distribuidas en entornos cada vez más complejos. Los estándares de interoperabilidad actuales no parece que soporten los consecuentes requisitos de intercambio de información para los sistemas que simulen la operación de esos nuevos sistemas y escenarios. Los sistemas de defensa futuros no serán una excepción a esa regla.

Como consecuencia se prevé que la Simulación Distribuida se verá forzada a cambiar de paradigma para poder atender las necesidades futuras a medio plazo. Una propuesta para ese cambio es el empleo de una infraestructura de simulación escalable, flexible, modular, adaptable y reconfigurable, basada en servicios, comunes, centrales y de ejercicios, que se encuentren incluidos en la matriz MSII como pieza central de su arquitectura.