

Optimización de despliegues militares sanitarios en operaciones mediante técnicas de modelado y simulación

Debán Blanco J.¹, García Luque A.², Castillo Chamorro JM.³

Sanid. mil. 2016; 72 (1): 8-14; ISSN: 1887-8571

RESUMEN

Antecedentes: La simulación es una de las técnicas más utilizadas para el apoyo a la toma de decisiones, pero hasta la fecha, pocas son las aplicaciones desarrolladas en el ámbito de la sanidad militar y en concreto en la planificación de despliegues militares sanitarios. **Objetivos:** Mostrar las posibilidades del uso de herramientas informáticas de simulación, para el apoyo a la planificación de un despliegue militar sanitario en zona de operaciones. **Material y método:** Se ha utilizado la técnica Montecarlo para simular y evaluar la eficacia de un despliegue militar sanitario. **Resultados:** Los resultados de la simulación permiten comparar distintas posibilidades de despliegues, definidas de antemano. **Conclusiones:** Un sistema “ad hoc”, basado en simulación, puede ayudar a elegir el despliegue militar sanitario más eficiente.

PALABRAS CLAVE: Simulación, Montecarlo, Planificación inteligente, Despliegue militar sanitario, Apoyo a la toma de decisiones.

Optimization of sanitary military deployments in operations using modeling and simulation techniques

SUMMARY: Background: Simulation is one of the most useful techniques for decision making support. Unfortunately, there are very few software tools that support simulation techniques to evaluate sanitary military deployments. **Objectives:** The aim of this article is to show the possibilities of the simulation software tools to support the planning phase of a sanitary military deployment. **Material and methods:** We used the Monte Carlo method to simulate and evaluate the effectiveness of a sanitary military deployment. **Results:** The simulation results allow us to compare different deployment possibilities in order to decide which works better in a tactical maneuver. **Conclusions:** An “ad hoc” based system simulation can help choose the most efficient sanitary military deployment.

KEYWORDS: Simulation, Montecarlo, Intelligent planning, Sanitary military deployment, Decision making support.

INTRODUCCIÓN

El *apoyo sanitario en operaciones* es el conjunto de acciones encaminadas a garantizar la protección de la salud de los miembros de la Fuerza, para mantener su capacidad de combate¹⁻³.

En todas las operaciones militares el apoyo sanitario es un punto crítico. La doctrina nacional y de las organizaciones internacionales a las que España pertenece, obliga a cumplir unos estándares de asistencia sanitaria tanto en calidad, como en tiempo de accesibilidad, que garanticen la mejor atención posible a las bajas, destacando que la Sanidad en operaciones no sólo es una función de los componentes del Cuerpo Militar de Sanidad, pues el mando es responsable del apoyo sanitario de la Fuerza bajo su autoridad y de los medios necesarios para garantizar dicho apoyo¹⁻².

El *apoyo logístico sanitario* forma parte de la Orden de Operaciones y tiene como objetivo la clasificación, asistencia y evacuación de las bajas que se produzcan durante el transcurso de una operación militar, abarca no sólo todo el Teatro de Opera-

ciones, sino también la evacuación a Territorio Nacional y de manera tradicional se planifica teniendo en cuenta que⁴:

- La mayor cantidad de bajas sanitarias se producen en la línea de contacto con el enemigo. Por ello existen formaciones móviles, ligeras, para la “atención precoz”, sobre el terreno de la baja²⁻⁵.
- Las bajas presentan diferentes estados de gravedad, por lo que es necesario establecer unos plazos máximos de tiempo, para recibir tratamiento cada una de ellas⁴.

De todo lo anterior expuesto, se deduce que tan importante es aproximar todo lo posible los medios diagnósticos y terapéuticos al lugar dónde se producen las bajas, como importante es una evacuación rápida y efectiva hacia órganos de asistencia sanitaria más complejos y que requieren personal sanitario facultativo (Medicina y Enfermería)¹.

Teniendo en cuenta, por un lado, que en la mayoría de las ocasiones se presta mayor atención a la preparación del personal y a la disposición y acumulación de recursos, dejando a un lado la optimización del despliegue sanitario, cuando la coordinación de éste junto con los medios de evacuación es clave¹ y por otro, que la espiral de avance tecnológico en la que nos encontramos es sorprendente, ya que en apenas cincuenta años han evolucionado drásticamente la velocidad de proceso de los ordenadores, su capacidad de almacenamiento así como la representación gráfica de datos en tiempo real, los autores nos planteamos si las técnicas de simulación en un despliegue sanitario pueden ayudar en la toma de decisiones al mando, previendo los medios sanitarios necesarios en función de las bajas estimadas.

¹ Cte. Ingeniero Politécnico. Parque y Centro de Mantenimiento de Sistemas Antiaéreos, de Costa y Misiles. España.

² Cte. Médico. Servicio Farmacología Clínica. Hospital Central de la Defensa “Gómez Ulla”. España.

³ Doctor Ingeniero de Telecomunicación. Universidad Internacional de La Rioja. España.

Dirección para correspondencia: jdebbla@et.mde.es

Recibido: 5 de octubre de 2015

Aceptado: 10 de diciembre de 2015

Para ello, en primer lugar, se ha realizado una búsqueda en “National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine (PubMed)” de los artículos que contenían en el *abstract* las palabras claves: “military deployment AND simulation” (fecha de última búsqueda 18/09/15), obteniendo 45 artículos, en todos ellos se utiliza la simulación como técnica de “aprendizaje/entrenamiento” y no como “ayuda a la toma de decisiones/planeamiento”. Del mismo modo, realizamos dos búsquedas en las bases de datos disponibles de forma electrónica en el Ministerio de Defensa⁶, que incluye colecciones como “Military & Government Collection”, “Library, Information Science & Technology abstract”, “Engineering source”, entre otras: 1ª) palabras claves “simulation AND military deployment” en el *abstract* del artículo (fecha de última búsqueda 18/09/15), obteniendo 10 resultados, en ninguno de ellos se utiliza la simulación en despliegue militar sanitario; 2ª) “simulation” en *abstract* junto con “military deployment” en cualquier campo (fecha de última búsqueda 18/09/15), obteniendo 40 artículos, ninguno de ellos sobre despliegue militar sanitario. Los 10 artículos de la primera búsqueda estaban incluidos en la segunda búsqueda (más sensible), mencionando 3 artículos que versan sobre simulación en despliegue militar, aunque no sanitario (dos de ellos simulan movimientos de tropas desde sus bases a su destino final, utilizando programas ya existentes; otro simula un despliegue de unidades militares en teatro de operaciones, utilizando un programa de simulación ya establecido)⁷⁻⁹. El resto de artículos tratan de simulación en despliegue de sensores, en redes de comunicación, en funcionamiento de ordenadores, recuperación de víctimas de un desastre, planificación de despliegues aéreos, ataques a objetivos navales o bien como entrenamiento¹⁰⁻¹⁶. Por último, en la biblioteca virtual del Ministerio de Defensa¹⁷, que incluye revistas como Sanidad Militar, Revista Aeronáutica, Ejército, Revista Española de Defensa, etcétera, realizamos una búsqueda con la palabra clave “simulación” obteniendo 62 artículos, ninguno de ellos utilizaba la simulación en despliegues militares sanitarios (fecha de última búsqueda 18/09/15).

Por todo lo comentado hasta ahora, los autores consideramos que es un tema de interés y con escasa o nula bibliografía publicada.

El objetivo de este trabajo es presentar una tecnología, consistente en un programa informático de simulación, creado por los autores, que permite evaluar la bondad de un despliegue sanitario, en concordancia con la maniobra táctica.

MATERIAL Y MÉTODO

Para la elaboración del presente programa de simulación, se ha tenido en cuenta la siguiente clasificación de las bajas en función de la urgencia, conforme a la doctrina vigente⁴:

- P1: Requieren tratamiento inmediato por hallarse en peligro de muerte inminente. El plazo operatorio es inferior a tres horas. Representan el 5% del total de las bajas sanitarias y deben ser tratadas en las formaciones de tratamiento que despliegan más a vanguardia.
- P2: Heridos en peligro de muerte por la aparición, en breve espacio de tiempo, de alteraciones fisiopatológicas irreversibles, pérdida de miembros, etc. Su tratamiento quirúrgico no debe retrasarse más de seis horas. Representan el 25% del total de las bajas sanitarias. Deben ser tratadas en formaciones hospitalarias del teatro de operaciones.

- P3: Su tratamiento puede esperar hasta diez horas, ya que no existe riesgo vital inmediato. Representan el 30% del total de las bajas. Deben ser tratadas en formaciones hospitalarias del teatro de operaciones.
- P4: Su tratamiento puede diferirse más de diez horas. Representan el 40% restante.

Por otra parte, se supone la activación de las siguientes *Formaciones Sanitarias de Tratamiento (FST)*⁴:

- *Puesto de Socorro (PS)*: Disponen de capacidad tanto para la puesta en estado de evacuación de las bajas como para su posterior traslado, con movilidad y protección similar a las fuerzas apoyadas para garantizar la eficacia y continuidad en el apoyo.
- *Puestos de Cirugía Ligera Avanzada (PCLA)*: Disponen de capacidad de cirugía de control de daños. No disponen de capacidad de desdoblamiento, por lo que se apoyan en otras formaciones sanitarias para su movimiento.
- *Hospital de Campaña (HC)*: Dispone de capacidades de alto nivel tecnológico (tratamiento quirúrgico, cuidados intensivos, cuidado de quemados, radiología, laboratorio, etc). Debido a su carácter modular, podrá desplegar en operaciones todos o parte de sus elementos.

También se ha considerado el *nido de heridos (NH)*, que aunque no es una formación sanitaria como tal, es el primer elemento sanitario con cierta capacidad de tratamiento en el primer escalón. Se integra en el propio despliegue de los subgrupos tácticos durante operaciones (los camilleros de las unidades tipo compañía le proporcionan cierta capacidad de evacuación, a pie, a los subgrupos tácticos)⁴.

Para la simulación, se ha utilizado el método Montecarlo, que consiste en generar repeticiones aleatorias de una distribución de probabilidad conocida y observar el comportamiento del sistema¹⁸.

El programa diseñado, aplicando la simulación como medio de evaluación del escalonamiento sanitario táctico, se ha elaborado siguiendo dos etapas. La primera consiste en la definición del escenario o modelo, con base en la descripción de variables de tipo estocástico, que describen los factores fundamentales que intervienen en el despliegue; y la segunda, la aplicación del método Montecarlo para la obtención del resultado del comportamiento del despliegue en proceso de evaluación (ver figura 1).

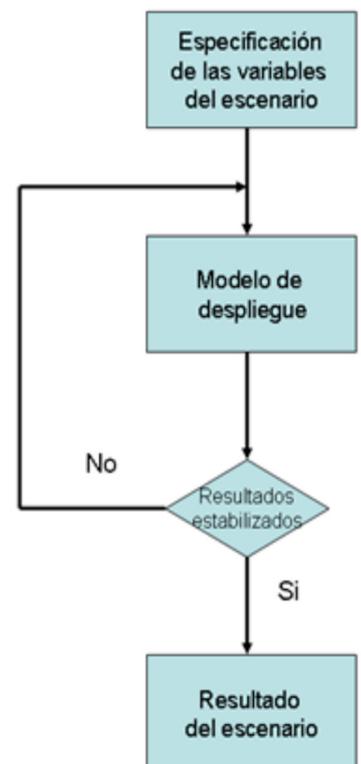


Figura 1. Diagrama de ejecución del método Montecarlo.

Los modelos implementados en la simulación fueron tres: 1) modelado de las bajas producidas por las unidades combatientes; 2) modelado de las distintas formaciones sanitarias y 3) modelado de los vehículos que transportan las bajas desde las unidades combatientes hasta las formaciones sanitarias o entre las distintas formaciones sanitarias.

El *modelado de las bajas producidas por las unidades combatientes* genera, mediante Montecarlo, las bajas sanitarias que deberán ser asistidas y evacuadas. En el simulador desarrollado en esta investigación, se han modelado las unidades a nivel sección y se ha supuesto que la producción de bajas, generada por el método de Montecarlo, sigue una distribución de Poisson (o lo que es lo mismo, que los tiempos entre dos bajas consecutivas siguen una ley exponencial), de la que se requiere conocer los siguientes datos:

- N° de efectivos con que cuenta cada sección.
- Porcentaje estimado de bajas totales por sección.
- N° estimado de bajas por hora y sección.
- Situación del nido de heridos a donde van las bajas que se producen en cada sección.

El *modelado de las distintas formaciones sanitarias* estima los tiempos que se tarda en proporcionar la asistencia sanitaria necesaria a las distintas bajas. En el prototipo simulador se ha supuesto que cada unidad de tipo batallón cuenta con un puesto de socorro móvil que clasifica las bajas que van llegando de los nidos de heridos y presta una primera asistencia sanitaria. Además se ha implementado un puesto de socorro principal y varios puestos de cirugía ligera avanzada, para poder atender a bajas tipo P1 y P2. Como última formación sanitaria se ha incluido un hospital de campaña. El modelado de las distintas formaciones sanitarias requiere el conocimiento de los siguientes datos:

- N° de personal/equipos sanitarios con que cuenta la formación (o lo que es lo mismo, el número de bajas que la formación puede atender al mismo tiempo).
- Situación de las distintas formaciones sanitarias.
- Tiempo medio de asistencia a las bajas.

Por último, el *modelado de los vehículos que transportan las bajas desde las unidades combatientes hasta las formaciones sanitarias o entre las distintas formaciones sanitarias*, estima los tiempos que se tarda en transportar a las distintas bajas desde las unidades combatientes hasta las formaciones sanitarias o entre las distintas formaciones sanitarias. En el prototipo simulador se ha supuesto que cada formación sanitaria cuenta con una o varias ambulancias. El modelado de los transportes requiere conocer los siguientes datos:

- Velocidad del transporte, definido como el doble de la distancia a recorrer, para recoger una baja, dividido por el tiempo que tarda el transporte en ir y volver. Así se tiene en cuenta los tiempos necesarios para recoger las bajas.
- Número de transportes disponibles por cada formación sanitaria.
- Capacidad de los transportes, entendido como la máxima cantidad de bajas que es capaz de transportar en un mismo viaje.

Una vez modeladas la producción de bajas, el transporte y la asistencia sanitaria, el simulador procede a estimar los tiempos necesarios para la evacuación de las bajas, admitiendo como válidas las siguientes hipótesis:

- Existe un nido de heridos por cada unidad tipo compañía.
- Existe un puesto de socorro móvil por cada unidad de tipo batallón.
- Existe un único puesto de socorro principal.
- Existen uno o varios puestos de cirugía ligera avanzada.
- Existe un hospital de campaña.
- Las bajas sanitarias que se van generando en las unidades combatientes, llegan primero a los nidos de heridos, donde no hay medios para realizar una clasificación.
- Las bajas se transportan de los nidos de heridos a los puestos de socorro móviles de cada batallón. En estos puestos de socorro móviles, las bajas reciben una primera asistencia sanitaria y una primera clasificación.
- La generación del tipo de baja se ha realizado siguiendo una distribución de probabilidad uniforme y teniendo en cuenta que las bajas tipo P1 suponen el 5% del total de las bajas que se producen; las bajas P2 el 25%; las bajas P3 el 30% y el resto (40%) corresponden a bajas tipo P4.
- En la recogida de bajas, tienen prioridad las bajas tipo P1 sobre las P2, y éstas sobre las P3 y P4.
- Cada transporte sólo puede transportar una baja P1 a la vez.
- En las asistencias, la primera baja en llegar, es la primera en ser atendida. Las bajas no abandonan la cola, ni se interrumpe una asistencia si ya ha empezado.
- Si las bajas son de tipo P1 o P2, se transportan al puesto de cirugía ligera avanzada más próximo.
- En cambio, si las bajas son de tipo P3 o P4, se transportan al puesto de socorro móvil al puesto de socorro principal.
- El último escalón en la cadena de asistencia y evacuación es el hospital de campaña, a donde van a parar todas las bajas que se han producido, para su recuperación.

Las herramientas informáticas empleadas para la implementación de este programa de simulación han sido las incluidas en el entorno MATLAB versión 6.5.

RESULTADOS

Como se muestra en la figura 2, tras la ejecución del procedimiento de simulación puede compararse el resultado de distintas simulaciones, en las que partiendo del mismo escenario en lo referente a la generación de bajas, se realicen despliegues sanitarios diferentes.

Una vez ejecutado el programa de simulación, se pueden obtener los tiempos estimados de asistencia y evacuación para cada una de las bajas (ver figura 3).

Teniendo en cuenta la gran cantidad de bajas que se pueden generar por medio de una simulación de Montecarlo, es posible calcular estadísticas que permitan valorar la idoneidad de un despliegue sanitario. Para este trabajo concreto, se han elegido las siguientes estadísticas:

- Tiempo medio de asistencia y evacuación.
- % de bajas P1 asistidas antes de tres horas.
- % de bajas P2 asistidas antes de seis horas.
- % de bajas P3 asistidas antes de diez horas.

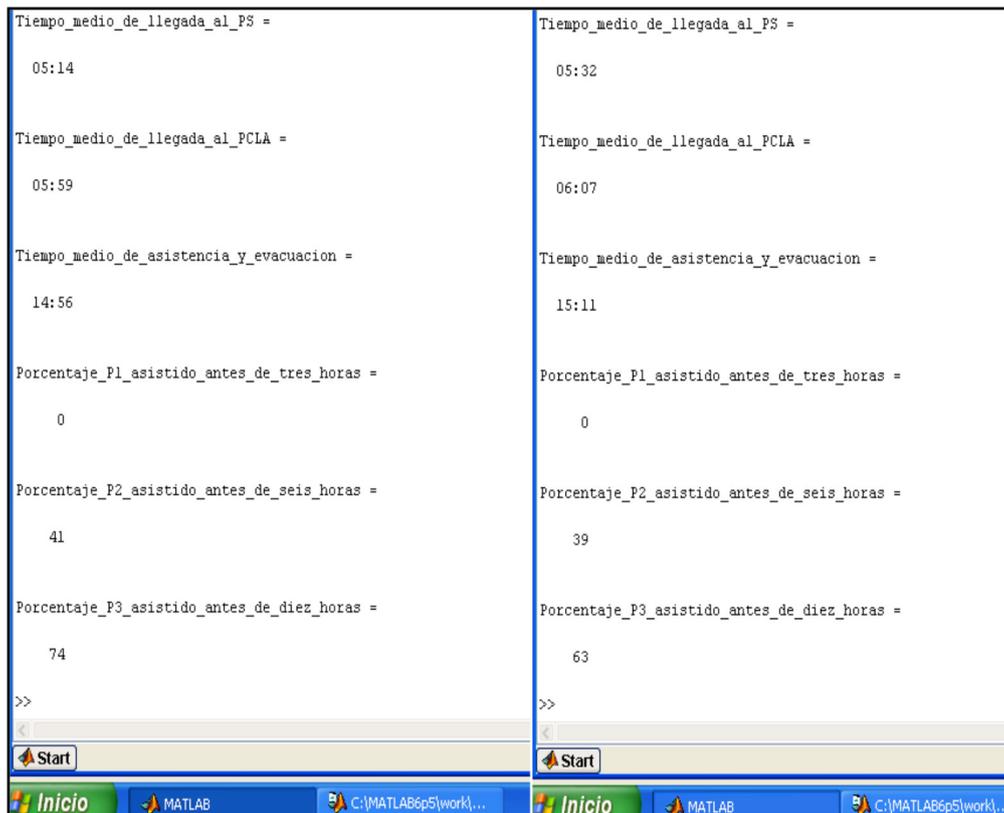


Figura 2. Comparativa entre simulaciones de diferentes despliegues.

TABLA DE TIEMPOS										
Tipo de baja	Batallon (Bon)	Posicion de la baja	Distancia al PS (km)	Tiempo de produccion de la baja	Tiempo de salida de ambulancia	Tiempo de recogida de la baja	Tiempo de llegada de la ambulancia al PS	Tiempo de inicio de asistencia	Tiempo de asistencia	Tiempo final
P4	1	66506150	0	00:00	00:00	00:20	00:41	00:41	00:03	00:44
P4	1	66506150	0	00:05	00:00	00:20	00:41	00:41	00:23	01:04
P4	2	67006150	0	00:03	00:03	00:23	00:43	00:43	00:16	00:59
P2	2	67006150	0	00:02	00:02	00:23	00:45	00:45	00:08	00:53
P3	1	66506150	0	00:02	00:02	00:23	00:45	00:45	00:05	00:50
P2	1	66506150	0	00:05	00:41	01:01	01:22	01:22	00:10	01:32
P1	2	67006150	0	00:04	00:45	01:05	01:25	01:25	00:03	01:28
P4	2	67006150	0	00:03	00:43	01:05	01:26	01:26	00:08	01:34
P4	2	67006150	0	00:04	00:43	01:05	01:26	01:26	00:09	01:35
P4	2	67006150	0	00:08	00:43	01:05	01:26	01:26	00:09	01:35
P4	2	67006150	0	00:09	00:43	01:05	01:26	01:26	00:03	01:29
P2	1	66506150	0	00:06	00:45	01:07	01:28	01:28	00:43	02:11
P1	1	66506150	0	00:07	01:22	01:43	02:05	02:05	00:13	02:18
P4	2	67006150	0	00:05	01:25	01:45	02:05	02:05	00:07	02:12
P3	2	67006150	0	00:11	01:25	01:45	02:05	02:05	00:20	02:25
P4	2	67006150	0	00:16	01:25	01:45	02:05	02:05	00:16	02:21
P4	2	67006150	0	00:17	01:25	01:45	02:05	02:05	00:11	02:16
P3	2	67006150	0	00:19	01:25	01:45	02:05	02:05	00:01	02:06
P3	2	67006150	0	00:30	01:25	01:45	02:05	02:05	00:01	02:06
P3	1	66506150	0	00:09	01:28	01:48	02:09	02:09	00:13	02:22
P4	1	66506150	0	00:16	01:28	01:48	02:09	02:09	00:25	02:34
P4	1	66506150	0	00:16	01:28	01:48	02:09	02:09	00:07	02:16
P3	1	66506150	0	00:19	01:28	01:48	02:09	02:09	00:16	02:25
P3	1	66506150	0	00:23	01:28	01:48	02:09	02:09	00:01	02:10
P4	1	66506150	0	00:26	01:28	01:48	02:09	02:09	00:00	02:09
P2	2	67006150	0	00:09	01:26	01:48	02:09	02:09	00:11	02:20
P2	1	66506150	0	00:09	02:05	02:25	02:45	02:45	00:32	03:17
P2	2	67006150	0	00:09	02:05	02:25	02:46	02:46	00:25	03:11
P4	2	67006150	0	00:11	02:09	02:30	02:50	02:50	00:19	03:09

Figura 3. Estimación de tiempos para asistencia y evacuación.

A continuación exponemos distintos escenarios que muestran el funcionamiento práctico del programa de simulación creado:

Escenario 1

Como primer escenario práctico supondremos un despliegue de dos batallones de una Brigada, compuesta por un total de 18 secciones de Infantería, cada una integrada por 30 soldados, con un porcentaje de bajas totales estimado en un 20% para todas ellas. Así mismo, se supone que en cada una de las secciones, se producirán bajas a un ritmo de 6 por hora.

En cada unidad de tipo Compañía hay un “nido de heridos”, que se encarga de recoger las bajas que van llegando de las distintas secciones. La posición de cada uno de los 6 nidos de heridos (uno por cada compañía) es la descrita en la tabla 1.

Tabla 1. Posición de cada uno de los 6 nidos de heridos (uno por cada compañía) del escenario 1.

Nidos de heridos	Posición
NH Compañía 1A	66406200
NH Compañía 1B	66606200
NH Compañía 1C	66706200
NH Compañía 2A	66906200
NH Compañía 2B	67006200
NH Compañía 2C	67206200

El despliegue sanitario propuesto, está compuesto por dos Puestos de Socorro, uno por batallón; ambos disponen de dos ambulancias para la recogida de las bajas desde los nidos de heridos. Cada PS consta de dos equipos sanitarios (compuestos por médico, enfermero y técnico-conductor) para la asistencia sanitaria y el tiempo medio de asistencia se estima en 12 minutos por baja. Además existe un Puesto de Socorro Principal, que dispone también de dos ambulancias y dos equipos sanitarios. El tiempo medio de asistencia es de una hora por baja. El despliegue se completa con un Puesto de Cirugía Ligera Avanzada, con las mismas características del PSP y de un Hospital de Campaña. La posición de cada formación es la expuesta en la tabla 2.

Tabla 2. Posición de cada formación en el despliegue sanitario.

Formación sanitaria	Posición
PS 1	66506150
PS 2	67006150
PSP	66806100
PCLA	66706100
HC	66706000

Por último, las diez ambulancias disponibles, dos por cada formación sanitaria, tienen una capacidad de transporte de hasta 3 bajas y una velocidad media de transporte de 15 km por hora.

Con estos datos, el simulador estima los siguientes resultados, que permiten evaluar la bondad del despliegue:

- Tiempo medio de asistencia y evacuación: 15 horas y 59 minutos.
 - % de bajas P1 asistidas antes de tres horas: 0%.
 - % de bajas P2 asistidas antes de seis horas: 30%.
 - % de bajas P3 asistidas antes de diez horas: 63%.
- Tiempo empleado en la simulación: 3,01 segundos.

Escenario 2

Una vez evaluado el despliegue del escenario 1, se procederá a estudiar cómo afecta una reducción de personal a los resultados anteriormente estimados.

Suponiendo que el personal sanitario se reduce a la mitad, es decir, que en vez de dos equipos de personal sanitario por cada formación, hay uno, los resultados obtenidos tras la simulación serían:

- Tiempo medio de asistencia y evacuación: 17 horas y 53 minutos.
 - % de bajas P1 asistidas antes de tres horas: 0%.
 - % de bajas P2 asistidas antes de seis horas: 24%.
 - % de bajas P3 asistidas antes de diez horas: 46%.
- Tiempo empleado en la simulación: 3,03 segundos.

Escenario 3

Se puede intentar solucionar un posible problema de falta de personal sanitario, como el contemplado en el escenario 2, usando transportes más rápidos (por ejemplo, helicópteros en lugar de ambulancias). Si se supone que la velocidad de los transportes se duplica, pasando de 15 a 30 km por hora, los resultados serían los siguientes:

- Tiempo medio de asistencia y evacuación: 9 horas y 10 minutos.
 - % de bajas P1 asistidas antes de tres horas: 14%.
 - % de bajas P2 asistidas antes de seis horas: 60%.
 - % de bajas P3 asistidas antes de diez horas: 93%.
- Tiempo empleado en la simulación: 3,09 segundos.

Escenario 4

En este cuarto escenario se comprobará si el despliegue propuesto en el escenario 3, que hasta ahora obtiene los resultados más eficaces, alcanza lo establecido en los estándares de la OTAN, que establece que las bajas en combate deben evacuarse en un medio de evacuación sanitaria con capacidad de “Resucitación de control de Daños” antes de 1 hora (PS), alcanzar una formación sanitaria con capacidad de aplicar Cirugía de Control de Daños antes de 2 horas (PCLA) y, si lo precisa, una formación con capacidad de Cirugía primaria antes de 4 horas^{3,19} (HC).

De acuerdo con estos datos, el simulador estima los siguientes valores:

- Tiempo medio de llegada a los PS: 3 horas y 9 minutos.
 - Tiempo medio de llegada al PCLA: 3 horas y 30 minutos.
 - Tiempo medio de llegada al HC: 9 horas y 10 minutos.
- Tiempo empleado en la simulación: 3,09 segundos.

Escenario 5

Se puede intentar mejorar el despliegue del escenario 4, aumentando el número de helicópteros disponibles por formación sanitaria de dos a cuatro. Con estos datos, el simulador estima los siguientes resultados:

- Tiempo medio de llegada a los PS: 1 hora y 24 minutos.
 - Tiempo medio de llegada al PCLA: 2 horas.
 - Tiempo medio de llegada al HC: 5 horas y 17 minutos.
- Tiempo empleado en la simulación: 3,20 segundos.

DISCUSIÓN

La simulación ha sido sinónimo de tecnología utilizada para la mejora en el entrenamiento, especialmente dentro del ámbito militar. Simuladores para la conducción de vehículos, simuladores de sistemas de armas, simuladores para cuadros de mando, son claros ejemplos de uso de la simulación para la mejora en el adiestramiento¹⁰⁻¹⁶

Esta preponderante acepción de la simulación no sólo se da en el ámbito militar, sino también en el puramente sanitario. Cabe destacar que podemos encontrar en los programas de la mayoría de las facultades de Medicina, asignaturas con denominaciones como “Enseñanza clínica con simuladores”, en la que la simulación se usa como medio de formación y entrenamiento del alumno²⁰⁻²⁴

Sin embargo, las técnicas de simulación no sólo se pueden aplicar para la mejora de habilidades mediante el entrenamiento, sino también para la concepción y transmisión de modelos, y para la evaluación y validación de procedimientos²⁵. En el ámbito militar, esta aplicación de la simulación se encuadra dentro de las tecnologías para el apoyo a la toma de decisiones, permitiendo evaluar el resultado de una situación táctica concreta a partir de los parámetros definidos en el marco de la Orden de Operaciones.

La auténtica utilidad de la simulación no es la obtención de simples cifras, sino poder comparar distintas posibilidades: en el escenario 2 se aprecia cómo los resultados que se pueden esperar con la mitad de personal son algo peores, aunque no demasiado, al menos si nos fijamos en el porcentaje de bajas asistidas a tiempo. De aquí, podríamos deducir que para este despliegue, dos equipos de personal sanitario por formación son demasiados y que, por lo general, nunca estarían ocupados los dos simultáneamente. De la comparación entre el escenario 2 y el escenario 3, al usar transportes más rápidos, se puede admitir que un factor que permite mejorar ampliamente el despliegue sanitario propuesto inicialmente, es una mejora en la velocidad de los transportes, que permite optimizar los resultados, reduciendo además el personal necesario. Sin embargo, habitualmente, en zona de operaciones, los helicópteros no están a nivel de PS.

Por último, en los escenarios 4 y 5, se muestra la utilidad del programa para cumplir estándares establecidos.

En el escenario 4, el despliegue adoptado no permite alcanzar lo establecido en los estándares de la OTAN, ya que el tiempo que se tarda en evacuar las bajas a un medio de evacuación sanitaria con capacidad de “Resucitación de control de Daños” es mayor de 1 hora (3 horas y 9 minutos); se alcanza una forma-

ción sanitaria con capacidad de aplicar Cirugía de Control de Daños en un tiempo mayor de 2 horas (3 horas y 30 minutos) y el tiempo medio necesario para evacuar las bajas a un hospital de campaña es mayor de 4 horas (9 horas y 10 minutos).

Sin embargo, como se puede ver, en el escenario 5, los resultados obtenidos prácticamente cumplen los estándares OTAN mencionados.

El prototipo demostrador desarrollado con motivo de esta investigación ha puesto de manifiesto la posibilidad de comparación de la eficacia de un conjunto de soluciones, tal y como se ha expresado en los distintos escenarios del apartado “Resultados”.

Es obvio, que la eficacia del servicio de sanidad militar en campaña no sólo depende de la pericia de los facultativos y de la logística sanitaria, sino también de la articulación de un adecuado despliegue sanitario acorde con las circunstancias de la maniobra táctica de la unidad operativa.

Teniendo en cuenta la madurez de la tecnología y la escasez de este tipo de herramientas dentro de los sistemas de mando y control actuales en España, la finalidad última de este artículo es la de fomentar la iniciativa de desarrollo y obtención de un prototipo operativo para el planeamiento de despliegues sanitarios.

El artículo presenta distintas limitaciones, algunas de ellas derivadas de las hipótesis que se han considerado válidas, si bien estas hipótesis pueden modificarse en función de la situación real en el programa creado al efecto:

- Se ha establecido el porcentaje de bajas en función de la gravedad, descrito en la literatura⁴, si bien podría ser diferente.
- No todas las bajas deben seguir necesariamente todos y cada uno de los escalones sanitarios, ni terminar en el hospital de campaña. De hecho, según la doctrina vigente, los medios de cada escalón podrán articularse atendiendo al principio de flexibilidad⁴.
- En las asistencias, la primera baja en llegar, es la primera en ser atendida. Además, las bajas no abandonan la cola, no cambian su clasificación con el transcurso del tiempo, ni se interrumpe una asistencia si ya ha empezado. En Medicina esto es inviable, pues, por ejemplo, las bajas son dinámicas, y P2 puede pasar a P1, o P3 a P1, etcétera, siendo continua la clasificación de las bajas.
- En el estudio, la composición de los equipos sanitarios ha sido de médico, enfermero y técnico-conductor, similar al existente en medicina de emergencias en territorio nacional. No obstante, a medida que nos encontramos en formaciones sanitarias más elevadas, la composición de los equipos es más compleja. La simulación puede ir complicándose en función de los requerimientos. Aquí se presenta un modelo básico con las hipótesis ya señaladas.
- Por otro lado, pero de gran importancia, se ha intentado mejorar el despliegue sanitario a costa de transportes más rápidos y acercándolos a la línea de combate, lo cual en la mayoría de las ocasiones no es real ni viable; aunque la simulación puede ayudar a encontrar el lugar más adecuado para su ubicación.

Por último, debemos señalar que el número de bajas por hora y sección que se ha utilizado en los escenarios (6 bajas por hora y sección) puede parecer excesivamente grande, si bien es

precisamente en las situaciones de “bajas masivas” (MASCAL, *mass casualty*) donde las herramientas de simulación expuestas en este artículo pueden tener más interés, al poder comparar los resultados de distintos despliegues en un breve espacio de tiempo.

CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado la simulación como una herramienta útil en el apoyo a la toma de decisiones del mando en lo relativo al planeamiento del despliegue sanitario. Podemos evaluar en el presente la bondad e idoneidad de varias soluciones futuras relativas al despliegue sanitario en función de la maniobra táctica.

BIBLIOGRAFÍA

1. García JA. Apoyo Sanitario en Operaciones, su importancia en vanguardia. Departamento Logística. XI CEMFAS. 2010.
2. Hernández A. Apoyo Sanitario en Operaciones” XIV CEMFAS. 2013.
3. STANAG 2228 (v2): “ALLIED JOINT MEDICAL SUPPORT DOCTRINE - AJP-4.10(A)”. 2003.
4. PD4-616. “Publicación Doctrinal. Sanidad en Operaciones”. Mando de Adiestramiento y Doctrina. 2011
5. Bellamy Robert F. The causes of Death in Conventional Land Warfare: Implications for Combat Casualty Care Research. *Mil Med* 1984; 149: 55-62.
6. EBSCO. Disponible en el siguiente enlace de Internet: <http://search.ebsco-host.com>
7. Yildirim U, Tansel B, Sabuncuoglu I. A multi-modal discrete-event simulation model for military deployment. *Simulat Pract Theory* 2009; 17: 597-611.
8. Burke JF, Love RJ, Macal CM. Modelling force deployments from army installations using the Transportation System Capability (TRANSCAP) model: A standardized approach. *Math Comput Model* 2004; 39: 733-44.
9. Van Groningen C, Blachowicz D, Braun M, Widing M. Performing comprehensive reception, staging, onward movement, and integration analysis in a theater of operations. *Math Comput Model* 2004; 39: 945-61.
10. Salmeron J, Wood R, Morton D. A stochastic program for optimizing military sealift. *Mil Oper Res* 2009; 14: 19-39.
11. Liu Y, Simaan M, Cruz J. An application of dynamic Nash task assignment strategies to multi-team military air operations. *Automatica* 2003; 39: 1469-79.
12. Yanling Hu, Anfeng L. An Efficient heuristic subtraction deployment strategy to guarantee quality of event detection for WSNs. *Comput J* 2015; 58: 1747-62.
13. Thomson GS, Black SM. Body recovery from hostile environments-a test of three kits. *Forensic Sci Int* 2012; 220: 147-53.
14. Place J. Evaluating police department policy decisions using a simulation model of sworn officer deployment. *International Journal of Police Science & Management* 2007; 9: 341-56.
15. Abo-Zahhad M, Ahmed S, Sabor N, Sasaki S. Rearrangement of mobile Wireless sensor nodes for coverage maximization based on immune node deployment algorithm. *Comput Electr Eng* 2015; 43: 76-89.
16. Wang X, Xu L, Zhou S. Restoration strategy based on optimal relay node placement in wireless sensor networks. *Int J Distrib Sens N* 2015: 1-13.
17. Biblioteca virtual de la Defensa. Disponible en: http://srvceabv02.mdef.es:7001/BVMDefensa/i18n/consulta/resultados_ocr.cmd
18. Peña D. Fundamentos de estadística. Madrid. Alianza Editorial 2008.
19. STANAG 2549 (v1): “EMERGENCY MEDICAL CARE IN THE OPERATIONAL ENVIRONMENT - AMEDP-24”. Implantado en España, en vigor.
20. Palés J, Gomar C. El uso de la simulación en educación médica TESI 2010; 11: 147-69. Disponible en el siguiente enlace de Internet: http://www.ub.edu/medicina_unitededucaciomedica/documentos/Lus%20de%20les%20simulacions%20en%20educacio%20medica.pdf
21. Laschinger S, Medves J, Pulling C et al. Effectiveness of simulation in health profession students knowledge, skills, confidence and satisfaction. *Int J Evid Based Healthc* 2008; 6: 278-302.
22. Lim G, McIvor WR. Simulation-based anesthesiology education for medical students. *Int Anesthesiol Clin* 2015; 53: 1-22.
23. Miledler LP, Vajda C, Wegscheider T. Patient death in simulation –based medical education. *Int J Med Educ* 15, 6: 109-10.
24. Weber J, Cumin D, Torre J, et al. Multidisciplinary operating room simulation based team training to reduce treatment errors. A feasibility study in New Zealand hospitals. *NZ Med J* 2015; 128: 40-51.
25. Castillo JM. Simulación. Disponible en: Ministerio de Defensa. Fundamentos de las Tecnologías de la Información. Escuela de Informática del Ejército. España 2004.