

Jorge Vásquez Albornoz
Mayor

EJÉRCITO VIRTUAL

DESAFÍOS DE TECNOLOGÍA
DE SIMULACIÓN DESDE
EL EJÉRCITO DE CHILE



Colección de Ensayos de la Academia Politécnica Militar del Ejército de Chile
ACAPOMIL

**EJÉRCITO VIRTUAL
DESAFÍOS DE TECNOLOGÍA
DE SIMULACIÓN DESDE
EL EJÉRCITO DE CHILE**

**JORGE VÁSQUEZ ALBORNOZ
MAYOR**

ACADEMIA POLITÉCNICA MILITAR

SANTIAGO, 2019

Comité editorial

Coronel Osvaldo Larraín Gallegos, Director de la Academia Politécnica Militar

Mayor Juan Pablo Palacios Cergna, Jefe de Extensión

Editor:

Sra. Cinthya Lepín Rueda

Diseño de Portada:

Instituto Geográfico Militar

ISBN 978-956-7527-88-5

Impreso en los talleres del Instituto Geográfico Militar

Primera edición 2019

200 ejemplares

PRESENTACIÓN

En consecuencia con la misión de la Academia Politécnica Militar, el presente libro forma parte del sustantivo aporte a la comunidad científica tanto civil como militar, a través de literatura útil para las aplicaciones de proyectos en ciencias de la ingeniería y disciplinas afines.

Con la finalidad intrínseca de contribuir con el desarrollo de la defensa nacional, este instituto de educación superior asume el compromiso de generar teoría y abrir la discusión sobre temáticas de desarrollo, innovación tecnológica y ciencias militares.

En esta oportunidad, el autor busca demostrar que una de las tecnologías militares más importantes para los ejércitos modernos es la modelación y simulación, debido a su alta aplicabilidad en funciones de carácter cívico-militar, elementos clave para entender y comprender mejor a las organizaciones públicas, estatales y de servicio país.

Por ello, este ensayo se constituye como una sistematización de los conceptos medulares que deben manejar todos quienes formen parte del Sistema de Simulación del Ejército de Chile.

A pesar de que el desarrollo tecnológico tiene una alta importancia para el campo de batalla moderno, esto no implica una modificación radical de las bases del Ejército en sí, tal como lo explica el autor: *“la tecnología es la manera como se solucionan los problemas modernos. Esta debe insertarse sin pasar por encima de nuestra cultura militar, nuestros valores, nuestro personal y nuestra historia y tradiciones”*.

Como cada lector se podrá percatar, resulta claro el esfuerzo constante y el trabajo mancomunado que debe realizar el Ejército para mejorar significativamente a través de la digitalización y de la tecnología.

Como Director de la Academia Politécnica Militar, presento con orgullo la presente publicación y reafirmo mi compromiso con la comunidad académica y con todo aquel que se encuentre interesado.

Santiago, noviembre de 2019

OSVALDO LARRAÍN GALLEGOS

Coronel

Director de la Academia Politécnica Militar

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|----|
| PRESENTACIÓN | 3 |
| INTRODUCCIÓN | 11 |
| CAPÍTULO I: PRINCIPIOS DE LA SIMULACIÓN MILITAR ... | 15 |
| 1.1. Conceptos previos..... | 16 |
| 1.1.1. Simulación..... | 16 |
| 1.1.2. Modelo | 17 |
| 1.1.3. Modelación..... | 17 |
| 1.1.4. Simulador | 17 |
| 1.1.5. Propósito de la simulación..... | 18 |
| 1.1.6. Simulación en apoyo a la instrucción y entrenamiento (I/E)..... | 18 |
| 1.1.7. Simulación en apoyo al análisis para elaborar Lecciones Aprendidas | 20 |
| 1.1.8. Simulación en apoyo a las tácticas, técnicas y procedimientos de combate (TTPs) | 20 |
| 1.1.9. Simulación en apoyo a la adquisición de nuevos materiales | 20 |
| 1.2. Principios de la simulación..... | 21 |
| 1.2.1. Dirección y control centralizado | 21 |
| 1.2.2. Economía | 21 |
| 1.2.3. Realismo | 21 |
| 1.2.4. Evolución..... | 22 |
| 1.2.5. Interoperabilidad..... | 22 |
| 1.2.6. Centralización de medios..... | 22 |
| 1.2.7. Seguridad | 22 |
| 1.3. Necesidades y limitaciones..... | 23 |
| 1.4. Clasificación de la simulación | 23 |
| 1.4.1 Por su naturaleza..... | 24 |
| a. Simulación constructiva | 24 |

| | |
|--|-----------|
| b. Simulación virtual..... | 25 |
| c. Simulación en vivo | 25 |
| d. <i>Serious Games</i> | 26 |
| 1.4.2. Por la finalidad a la que está orientada..... | 26 |
| a. Simuladores de apoyo a la capacitación y a la instrucción. | 26 |
| b. Simuladores de apoyo al entrenamiento y evaluación..... | 27 |
| 1.4.3. Otros materiales..... | 27 |
| a. Ayuda de instrucción..... | 27 |
| b. Emulador..... | 27 |
| | |
| CAPÍTULO II: ¿POR QUÉ SIMULAMOS LA GUERRA? ... | 29 |
| 2.1. Modelos de simulación..... | 29 |
| 2.2. Modelar para la adquisición de capacidades militares | 30 |
| 2.3. Modelar para el análisis de capacidades militares | 35 |
| 2.4. Modelos de simulación para el análisis..... | 35 |
| 2.5. Protocolos de comunicaciones | 36 |
| 2.6. Modelo de parametrización | 36 |
| 2.7. Modelo geográfico de simulación | 37 |
| 2.8. Modelo de doctrina | 39 |
| 2.9. Simulación de comunicaciones..... | 41 |
| 2.9.1. Propósito de la simulación de comunicaciones | 41 |
| 2.9.2. Ámbito del sistema | 42 |
| 2.9.3. Duplicar escenario en QualNet..... | 42 |
| 2.9.4. Secuencia de eventos | 43 |
| 2.9.5. Simulación conjunta..... | 44 |
| | |
| CAPÍTULO III: SIMULACIÓN PARA EL ENTRENAMIENTO .. | 47 |
| 3.1. Simulación para el entrenamiento de la toma de decisiones | 47 |
| 3.2. Modelos de simulación para el entrenamiento | 49 |
| 3.3. Metodología de juegos | 49 |
| | |
| CAPÍTULO IV: SISTEMAS DE SIMULACIÓN | 51 |
| 4.1. Sistema operativo..... | 52 |
| 4.2. Servidor <i>Web</i> | 52 |
| 4.3. Diseño físico del <i>software</i> | 54 |
| 4.4. Sistemas complejos | 55 |
| 4.5. Flujo de la información | 55 |

| | |
|---|-----------|
| 4.6. Integración de un simulador..... | 56 |
| 4.7. Aplicación informática..... | 57 |
| 4.8. Conexión inalámbrica..... | 58 |
| 4.9. Conexión con cámaras infrarroja..... | 59 |
| 4.10. Diseño de la base de datos..... | 60 |
| 4.11. Diseño de perfiles de usuarios..... | 62 |
| 4.12. Diseño de la interfaz de administración del sistema de simulación..... | 63 |
| 4.13. Interacción con la base de datos (<i>back-end</i>)..... | 65 |
| 4.14. Diseño de base de datos..... | 66 |
| 4.14.1. Principales características de Postgres SQL..... | 67 |
| 4.14.2. Funciones Postgres SQL..... | 67 |
| 4.14.3. Ventajas..... | 67 |
| 4.15. Plataforma de entrenamiento..... | 68 |
| 4.15.1. Interfaz de dirección..... | 69 |
| 4.15.2. Interfaz del jugador..... | 70 |
| 4.15.3. Interfaz de revisión de procesos postejercicio AAR (<i>After Action Review</i>)..... | 71 |
| 4.16. Generación de reportes (resultados de sesión)..... | 72 |
| 4.16.1. Historial de sesiones de entrenamiento..... | 75 |
| 4.16.2. Diseño de usuario..... | 76 |
| 4.16.3. Editar usuarios..... | 76 |
| 4.16.4. Eliminar usuarios..... | 78 |
| 4.16.5. Agregar sesiones de entrenamiento..... | 78 |
| 4.16.6. Eliminar sesiones..... | 79 |
| 4.16.7. Historial o <i>logbook</i> | 80 |
| CAPÍTULO V: ORGANIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN MILITAR... | 83 |
| 5.1. La simulación en el Ejército..... | 83 |
| 5.1.1. Características principales del Sistema de Simulación Institucional (SSI)..... | 84 |
| 5.1.2. Funciones generales del sistema..... | 85 |
| a. Dirigir la tecnología de simulación..... | 85 |
| b. Gestionar la información de simulación..... | 85 |
| c. Planificar en el empleo de simulación..... | 86 |
| d. Asesorar en el soporte para simuladores..... | 86 |
| 5.2. Asesorar en la obtención de simuladores..... | 86 |
| 5.3. Misión del Sistema de Simulación Institucional..... | 86 |
| 5.4. Tareas fundamentales del SSI..... | 87 |
| 5.5. Subsistemas del SSI..... | 87 |

| | |
|---|------------|
| 5.6. Subsistema de gestión de la información..... | 88 |
| 5.6.1. Función de administrador del Sistema de Simulación Institucional..... | 88 |
| 5.6.2. Función de gestión de la doctrina..... | 88 |
| 5.6.3. Función de difusión de simulación | 88 |
| 5.6.4. Función de gestión del conocimiento..... | 89 |
| 5.6.5. Función como administrador del comité de simulación | 89 |
| 5.6.6. Función como componente de investigación y desarrollo del Ejército en simulación | 89 |
| 5.7. El subsistema de empleo de simuladores | 89 |
| 5.7.1. Función de elaboración de reportes..... | 89 |
| 5.7.2. Función de recepción de reportes | 89 |
| 5.7.3. Función de planificación y control de entrenamiento con simuladores | 90 |
| 5.7.4. Función de acreditación con simuladores..... | 90 |
| 5.7.5. Función de capacitación en simulación..... | 90 |
| 5.8. Subsistema de soporte para simuladores | 90 |
| 5.8.1. Función de levantamiento de la demanda de simulación | 90 |
| 5.8.2. Función de conocer la brecha técnica de simuladores | 90 |
| 5.8.3. Función de levantamiento proyectos de simulación | 90 |
| 5.8.4. Función de informar la disponibilidad | 91 |
| 5.9. Subsistema de asesoría de obtención de simuladores... | 91 |
| 5.9.1. Función de programación de mantenimiento ... | 91 |
| 5.9.2. Función de administración de cargos..... | 91 |
| 5.9.3. Función de conocimiento de la situación de abastecimiento | 91 |
| 5.9.4. Función de desarrollo de simuladores | 91 |
| CAPÍTULO VI: SIGUIENTES PASOS DE LA SIMULACIÓN .. | 93 |
| 6.1. Agentes inteligentes | 93 |
| 6.2. <i>Big Data</i> | 95 |
| 6.3. La Internet de las Cosas (IoT)..... | 96 |
| 6.4. Simulación de comunicaciones..... | 98 |
| CONCLUSIONES | 99 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 101 |

GLOSARIO

- FOM: Modelo de Objeto de Federación.
- GUI: abreviatura de Interfaz Gráfica de Usuario, por sus siglas en inglés (*Graphical User Interface*).
- *Hardware*: conjunto de elementos físicos o materiales que constituyen una computadora o un sistema informático.
- HLA (*High Level Architecture*): es una especificación que permite la interoperación de dos o más programas de *software* (generalmente *software* de simulación). Los programas de *software* se comunican entre sí, a través de un módulo de infraestructura de tiempo de ejecución (RTI), que implementa la especificación de la interfaz HLA.
- DIS (*Distributed Interactive Simulation*): es un protocolo de comunicación que permite simulaciones disímiles, para intercambiar información, a través de una red a medida que cada uno ejecuta sus respectivos escenarios.
- VR-FORCES: simulador de uso militar, para la comprobación de resultados entre el enfrentamiento de fuerzas y la simulación de situaciones en escenarios virtuales.
- RTI: es una implementación de la infraestructura de tiempo de ejecución (RTI) de la arquitectura de alto nivel (HLA).

INTRODUCCIÓN

La popular película de ciencia ficción *Cuando los Mundos Chocan*,¹ producida en 1951, por el estadounidense Rudolph Maté, describió un panorama un tanto angustiante del futuro de la humanidad en la Tierra. Sin embargo, las perspectivas de una realidad fusionada, en la que el mundo físico y el digital colisionan, son, sin dudas promisorias (Wall, 2017).

Eliminando las limitaciones propias de la tecnología actual, la realidad híbrida² o la combinación de la realidad virtual y real, como se conoce, está creciendo a la velocidad del pensamiento, para enriquecer las experiencias e inspirar nuevas tecnologías. En este libro, ahondaremos en las experiencias sobre la realidad virtual confluida con la realidad física.



Figura N° 1: Entrenamiento del soldado del futuro.

Fuente: Technavio (2018).

1 *When Worlds Collide*, Paramount Pictures.

2 Se refiere a la realidad mixta como la interacción entre realidad virtual y física en un solo escenario o ambiente.

Si ponemos como ejemplo el sector defensa, observamos que la realidad virtual tiene implicaciones importantes en un entrenamiento más enfocado en la eficiencia de los recursos del Estado y la predicción de situaciones futuras de gran impacto, haciendo converger las ciencias militares, el contexto del mundo real y los avances tecnológicos.

Junto con lo anterior, el sector de la simulación para el entrenamiento militar está moviendo billones de dólares, concentrado, principalmente, en Estados Unidos, pero distribuido a lo largo de todo el mundo, para hacer del entrenamiento militar una experiencia más asequible, precisa, repetitiva y sustentable.



Figura N° 2: Mercado de la simulación militar.

Fuente: Technavio (2018).

Estos simples gráficos reflejan no solo que las crecientes inversiones en simuladores son uno de los principales factores que impulsan el crecimiento del mercado militar y civil, sino que también se utilizan como parte del plan de entrenamiento en los planteles militares alrededor del mundo. Estos simuladores traen consigo el desarrollo de *software*, diseño de aparatos mecatrónicos y cientos de aplicaciones informáticas que, finalmente, intentan, mediante escenarios computarizados, representar un escenario en tiempo real y entrenar a los posibles soldados.

Las Fuerzas Armadas de todo el mundo están adoptando cada vez más simuladores, o sea, entrenamiento virtual basado en la simulación, debido a que se apoyan en componentes comerciales listos para usar o COTS por sus siglas en inglés (*Commercial off-the-shell*), al bajo costo de desarrollo, la disponibilidad de reemplazos y la reducción del costo de la capacitación. Estos factores están impulsando significati-

vamente a las Fuerzas Armadas a invertir fuertes recursos en la formación basada en la simulación y otras tecnologías de entrenamiento innovadoras como la inteligencia artificial y la robótica.

Lo anterior está, además, generando una condición mínima para una nueva "poscondición" humana, ya que se ha provocado un cambio fundamental en nuestras nociones de la realidad material, el que continuará en el futuro. Las experiencias que están generando estos aparatos computacionales pueden sobrepasar los límites que hoy en día conocemos del tiempo, el espacio y el uso de nuestro propio cuerpo.

El ejército virtual, el ejército que viene, combinará datos en tiempo real de entrenamiento, inteligencia artificial para análisis de comportamiento de sistemas, tecnología ajustada al cuerpo o *wearable*³ y un extraordinario poder de cómputo, para proporcionar una disponibilidad de defensa más omnipresente, tiempos más rápidos de producción de componentes, así como entrenamientos personalizados, modulares y ágiles. Con el aumento de la potencia tecnológica y el monitoreo continuo de los otros ejércitos, la siguiente ola de soluciones militares digitales nos podrían llevar a cambios estructurales de paradigmas.

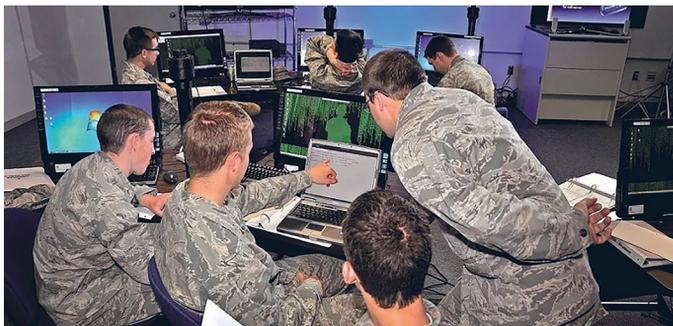


Figura N° 3: Soldados entrenando con la información.

Fuente: Abadicio (2019).

El Ejército de Chile no está ajeno de esa transformación tecnológica mundial, por lo que comenzó a sistematizar su uso, planificar su ad-

3 También conocida como 'tecnología vestible', corresponde a aquellos aparatos mecatrónicos que se ajustan como una prenda de vestir.

quisición y protocolizar el empleo de simuladores de entrenamiento, para generar ambientes virtuales, crear modelos para la planificación de operaciones militares y simular el impacto de la adquisición o modernización de los Sistemas de Armas, el personal o la organización de ambos.

En consecuencia, este libro intenta centralizar el conocimiento de simulación militar que ha adquirido el Ejército de Chile. Con este propósito, recopila estudios, artículos, libros, experiencias y conocimientos del autor después de cinco años sirviendo en el Centro de Modelación y Simulación del Ejército (CEMSE) que son plasmados para el lector.

CAPÍTULO I: PRINCIPIOS DE LA SIMULACIÓN MILITAR

La progresiva evolución de los sistemas de armas y el elevado valor para su desarrollo y empleo, la política de contención presupuestaria o reducción de asignaciones, el impacto medioambiental, la reducción de campos de instrucción, el incremento en la profesionalización de las Fuerzas Armadas, junto con la necesidad de actuación de las unidades en diversos escenarios cada vez más complejos, cambiantes y demandantes, han exigido una adaptación del Ejército a una nueva situación, a fin de alcanzar el mayor nivel de entrenamiento posible con eficiencia.



Figura N° 4: Simulador de entrenamiento.

Fuente: Ruag (2019).

Para alcanzar los máximos niveles de operatividad, la institución emplea distintas herramientas tecnológicas, con la finalidad de ayudar al entrenamiento, la toma de decisiones, la elaboración de estudios doctrinales, así como también para la preparación y evaluación de sus unidades.

Entre las herramientas empleadas se encuentra la simulación, auténtico multiplicador del entrenamiento de las unidades. El interés del

Ejército por la simulación se ha visto materializado en un importante esfuerzo durante los últimos años en la adquisición de medios y sistemas. Como consecuencia de ello, el Ejército ha pasado de, prácticamente, no contar con capacidades en este campo hace 10 años a disponer de medios de simulación a lo largo y ancho de nuestro país, desde los centros de entrenamiento (CE), en las unidades de armas combinadas (UACs) y en los subcentros de entrenamiento (SCE), hasta la estructura superior del Ejército.

1.1. Conceptos previos

A continuación el autor intentará conceptualizar los diferentes términos empleados para contextualizar al lector. Al no haber un Reglamento de Simulación, este libro pretende establecer conceptos usados comúnmente en el Ejército de Chile, las otras Fuerzas Armadas y organizaciones públicas y privadas de nuestro país.

1.1.1. Simulación

Es el conjunto de técnicas que, mediante el uso de tecnología computacional, hacen posible imitar o simular ciertos aspectos de la realidad. Esto permite trabajar en condiciones similares a las reales, pero con variables controladas y en un entorno que se asemeja a lo real, creado o acondicionado artificialmente.



Figura N° 5: Ambiente virtual.

Fuente: Crytek (2019).

1.1.2. Modelo

Es la representación gráfica de un fenómeno, sistema o proceso. Con este se realizará la simulación o se basará el simulador.

Este modelo tiene como objetivo representar sistemas de armas, configuraciones de unidades militares, soldados, mapas y todo el ambiente virtual que utilizará el simulador o la simulación, agregando la variable tiempo.



Figura N° 6: Modelo tridimensional de un tanque.

Fuente: eSim Games (2019).⁴

1.1.3. Modelación

Corresponde al proceso de estructura de un modelo que haga posible recrear la realidad por medio de un algoritmo matemático o por el uso de instrumentos estadísticos.

1.1.4. Simulador

Aparato computacional (algoritmos, programas, *hardware*, redes, etc.) que reproduce el comportamiento de un sistema en deter-

4 eSim Games es la empresa desarrolladora del famoso video juego militar o *serious games* "Steel Beasts" usado por el Ejército de Chile.

minadas condiciones que en realidad no están sucediendo. Se pretende reproducir tanto las sensaciones físicas (velocidad, aceleración, percepción del entorno), como el comportamiento, entregando un reporte de lo realizado en el simulador. En síntesis, son aparatos (herramientas), mediante los cuales la simulación logra operacionalizar supuestos y generar conductas en escenarios simulados.

Para simular las sensaciones físicas se puede recurrir a complejos mecanismos hidráulicos, comandados por computadores que, mediante modelos matemáticos, consiguen reproducir sensaciones de velocidad y aceleración. Con la finalidad de reproducir el entorno exterior, se emplean proyecciones de bases de datos de terreno. A este entorno se le conoce como “entorno sintético”.

Para simular el comportamiento de los equipos, el sistema simulado recurre a varias técnicas. Se puede elaborar un modelo de cada equipo, utilizar el equipo real, o bien, el mismo *software* que corre en el equipo real, pero haciéndolo correr en un computador más convencional.

1.1.5. Propósito de la simulación

La simulación, en el ámbito de la preparación, tiene por objeto complementar, facilitar, perfeccionar y, en ocasiones, posibilitar la instrucción y entrenamiento de las unidades del Ejército, facilitar su evaluación y los análisis de situaciones ocurridas (Lecciones Aprendidas), ensayar conceptos doctrinales antes de su implantación y estudiar aspectos relacionados con la adquisición de nuevos materiales.

La simulación no debe ser considerada como un fin en sí misma, sino como un apoyo a la preparación, a disposición del mando, que colabora en alcanzar los niveles de preparación requeridos para cumplir las misiones encomendadas.

1.1.6. Simulación en apoyo a la instrucción y entrenamiento (I/E)

Es el principal campo en el que actúa la simulación, convirtiéndose en un multiplicador y, en ocasiones, en un facilitador de la I/E en las unidades. Sin llegar a suplir los ejercicios con empleo real

del material, la simulación deberá considerarse como un complemento a los mismos.

La simulación en apoyo a la I/E permite:

- Facilitar el conocimiento, destreza y eficacia necesarios en el manejo óptimo del armamento, material, equipo y sistemas de armas.
- Mejorar la soltura, eficiencia e integración en el planeamiento, preparación y ejecución de operaciones, desde las de combate hasta las operaciones distintas de la guerra, proporcionando, además, la posibilidad de realizarlo de forma segura en situaciones de estrés elevado.
- Reducir el impacto económico que conlleva la realización de determinadas actividades o ejercicios.
- Racionalizar el empleo de determinados vehículos, armamento, materiales, equipos y sistemas de armas, reduciéndose el impacto económico que ello supone, así como su deterioro y desgaste.
- Racionalizar el consumo de municiones, artefactos y explosivos.
- Reducir el impacto medioambiental asociado a las actividades de preparación y las vulnerabilidades que este aspecto supone para la Institución.
- Incrementar la operacionalidad de la Fuerza Terrestre.
- Incrementar la variedad y el estímulo en el aprendizaje, proporcionando un amplio abanico de posibilidades, para el logro de los objetivos marcados.
- Complementar o preparar la ejecución de ejercicios.

1.1.7. Simulación en apoyo al análisis para elaborar Lecciones Aprendidas

Los simuladores permiten analizar situaciones ocurridas y poner en práctica determinados aspectos doctrinales, facilitándose, con ello, la obtención de Lecciones Aprendidas (LL.AA.).

La simulación en apoyo a las LL.AA. permite:

- Experimentar dentro del escenario donde se han producido incidentes.
- Analizar los incidentes desde diferentes puntos de vista (fuerzas propias, fuerzas de oposición y/u otros actores del Área de Responsabilidad (AOR)).

1.1.8. Simulación en apoyo a las tácticas, técnicas y procedimientos de combate (TTPs)

Del análisis de las situaciones ocurridas y de la puesta en práctica de determinados aspectos doctrinales que se realizan en los simuladores, estos medios constituyen una herramienta válida a disposición del mando para la definición y actualización de TTPs.

La simulación en apoyo a las TTPs permite:

- Practicar las TTPs en vigor antes de su empleo en una operación o ejercicio.
- Evaluar las diferentes TTPs antes de ser implantadas.
- Revisar las TTPs existentes.

1.1.9. Simulación en apoyo a la adquisición de nuevos materiales

La simulación en apoyo a las adquisiciones permite:

- Probar y analizar nuevos materiales antes de su definición final.
- Probar y analizar nuevos materiales antes de su fabricación.

1.2. Principios de la simulación

Los principios en que se basa la simulación permiten definir los procesos por los que regirá el planeamiento, adquisición, empleo y modernización de los medios de simulación de la Institución.

1.2.1. Dirección y control centralizado

La simulación exige ser coordinada al más alto nivel, evitándose, con ello, la duplicidad de esfuerzos y las posibles interferencias que se pudieran producir en los procesos de planificación, adquisición y empleo de los mismos, por los distintos mandos implicados.

1.2.2. Economía

Se deberán adquirir aquellos medios de simulación que se consideren estrictamente necesarios para el mejor apoyo a la preparación de las unidades, evitando, con ello, duplicidades en las adquisiciones o, incluso, adquisiciones no deseadas. Para alcanzar el principio de economía se requiere de una estrecha coordinación entre el órgano que define y/o identifica la necesidad, el órgano de planificación y decisión, el órgano de dirección y, finalmente, los órganos de adquisición de las necesidades aprobadas, así como del máximo aprovechamiento de las instalaciones y medios de simulación existentes.

1.2.3. Realismo

Aunque la simulación nunca podrá sustituir a la preparación con ejercicios con empleo real del material, ni mucho menos a la realidad de una operación, deberán adoptarse las medidas oportunas, de manera tal que los medios y sistemas adquiridos se aproximen lo máximo posible a estos. Para ello será necesario que los medios y sistemas de simulación que se adquieran o desarrollen sean lo más parecido posible al armamento, material o equipo empleado por nuestras unidades, así como que reproduzcan los escenarios y TTPs utilizados, que serán los de las distintas áreas en el que se despliegan o se pueden llegar a desplegar unidades de la Fuerza Terrestre (FT).

1.2.4. Evolución

Debido a la evolución de la tecnología y de las capacidades que proporcionan los sistemas de información y las comunicaciones, los medios de simulación podrán verse sometidos a continuos procesos de modernización. Con la finalidad de que estos procesos no supongan un elevado impacto económico, se deberán adquirir los distintos materiales con visión de futuro, intentando, en la medida de lo posible, que los medios adquiridos sean de fácil actualización, ya sea por medios orgánicos o externos a la institución y, en la medida de lo posible, a un reducido costo.

1.2.5. Interoperabilidad

La interoperabilidad entre determinados simuladores y sistemas de mando y control supondrá una mejora en las capacidades a disposición de las unidades, para su apoyo a la preparación, de manera que, una vez enlazados determinados simuladores entre sí, se podrá alcanzar el concepto de “campo de batalla virtual”.

Asimismo, determinados sistemas de simulación, principalmente de la familia de los “*serious games*” (juegos comerciales adaptados a las necesidades de los diferentes ejércitos), deberán ser capaces de relacionarse con los principales medios de mando y control, lo que permitirá alcanzar un mayor realismo al permitir utilizar estructuras y medios operativos.

1.2.6. Centralización de medios

Esto se realizará con el objeto de optimizar al máximo el rendimiento de los medios existentes, consiguiendo una mayor rentabilidad y ahorro tanto en personal como en material, infraestructura y mantenimiento.

1.2.7. Seguridad

Los medios y sistemas de simulación deben garantizar la seguridad del personal que los opera y, dependiendo del tipo de simulador, del material, armamento y equipo empleado como soporte.

1.3. Necesidades y limitaciones

La simulación presenta las siguientes necesidades y limitaciones:

- Como su propio nombre lo indica, la simulación nunca podrá sustituir a la realidad.
- Requiere de un alto grado de especialización de sus operadores y del personal encargado de su mantenimiento. Asimismo, esta especialización requiere de personal expresamente designado como gestor/responsable principal del equipo quien, a su vez, deberá recibir formación específica para tal cometido. De este modo las unidades que disponen de simuladores cuentan con una serie de puestos tácticos para garantizar que estos sean empleados de manera adecuada, que se obtenga de ellos el máximo rendimiento, que se optimicen los gastos por mantenimiento y que se prolongue su vida útil.
- Necesita un gran esfuerzo económico, principalmente, en las primeras fases de su adquisición. En el mayor número de ocasiones, su empleo está condicionado al costo económico y sometido a criterios de rentabilidad.
- Precisa de un constante proceso evolutivo asociado siempre a las nuevas tecnologías, capacidades y a los nuevos sistemas de armas, material y/o equipo.
- En ocasiones, demanda instalaciones, infraestructura y medios de seguridad asociados a las mismas, los que requerirán, eventualmente, de condiciones especiales y/o de carácter exclusivo y no serán susceptibles de ser empleadas, para otros fines, de modo que se dificulte el proceso de implantación de los distintos sistemas.

1.4. Clasificación de la simulación

La simulación empleada para la docencia, capacitación, instrucción y entrenamiento de la institución, se puede clasificar conforme a lo siguiente:

- Por su naturaleza.
- Por la finalidad a la que está orientada.
- Otros materiales.

1.4.1. Por su naturaleza

Según su naturaleza los simuladores se clasifican en:

a. Simulación constructiva

Simulación que proporciona, por modelos informáticos, la representación gráfica de unidades, sistemas de armas y sus efectos, equipos y terreno, para el entrenamiento de los mandos y sus respectivos Cuartos Generales (CG/PL MY).⁵ Para su empleo, es necesario que terceras personas introduzcan órdenes y acciones al sistema.

Se utiliza normalmente a nivel batallón y brigada. Permite a los comandantes comprobar el proceso de las operaciones (planificar, preparar, ejecutar y evaluar), facilitando la conducción, ajustes y modificaciones necesarias para que los comandantes conduzcan sus unidades y se enfrenten al adversario en este tipo de simulación.

A través de la simulación constructiva es posible apoyar en la generación de doctrina, investigación y análisis que permitan evaluar nuevas estructuras orgánicas.

Se desarrolla cuando soldados simulados emplean equipo simulado en un ambiente virtual. Como ejemplo de simuladores constructivos se citará el simulador “Sistema de entrenamiento táctico computarizado” SETAC 3.⁶

5 Plana mayor.

6 SETAC es un sistema de entrenamiento táctico para entrenamiento de alumnos de la Academia de Guerra del Ejército.

b. Simulación virtual

Busca el entrenamiento a través de la inmersión del soldado en el mundo virtual. Combina el uso de equipos reales con escenarios proyectados por medio de computadores, pero donde prevalecen las decisiones de los individuos. Por este tipo de simuladores es posible capacitar y entrenar en la operación de sistemas de armas, además de evaluar y certificar técnicas de combate.

Se desarrolla cuando soldados reales emplean material, armamento o equipo simulado en un ambiente virtual. Como ejemplo de simulador virtual, se citará el simulador de “Técnica de combate de pelotón del tanque Leopard 2 A4”.⁷

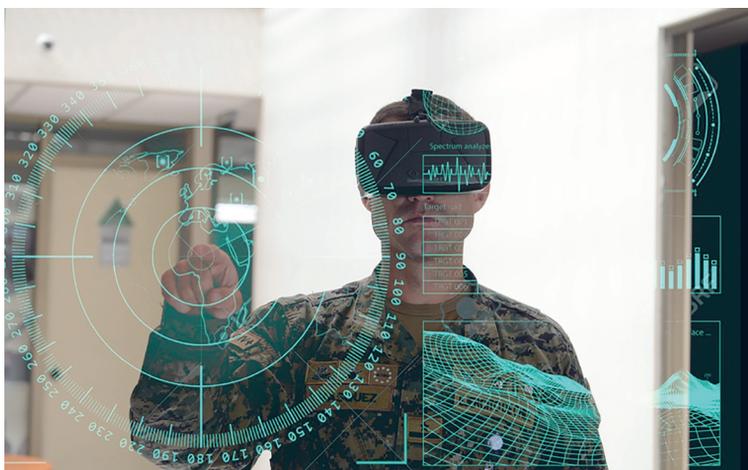


Figura N° 7: Ilustración de simulación virtual.

Fuente: Ejército de Chile (2018).

c. Simulación en vivo

Entrena unidades en terreno. Puede ser realizada con armamento y vehículos acondicionados técnicamente, para la instrucción y entrenamiento o con los que corresponden conforme a dotación y orgánica de cada unidad. Con este tipo de simuladores se obtie-

⁷ Simulador de entrenamiento táctico ubicado en el Centro de Entrenamiento de Combate Acorazado.

nen resultados medibles y comparables, mediante la utilización de equipo adicional en los sistemas de armas reales.

Se desarrolla cuando soldados reales emplean equipo simulado en un ambiente real. Como ejemplo de simulador virtual, se citará el simulador de “duelo láserico para carro Marder modelo BT-46”.⁸

d. *Serious Games*

Son sistemas de simulación de bajo costo, basados en juegos comerciales para PC (bajo licencia) que, adaptados a las necesidades de los diferentes ejércitos, resultan muy útiles para el entrenamiento de unidades hasta nivel unidad fundamental (UF) o equipo de combate (EC), llegando a emplearse, en ocasiones, como simuladores constructivos de hasta nivel Brigada. Como ejemplos, se citarán el *Steel Beasts* y el VBS.⁹

1.4.2. Por la finalidad a la que está orientada

Según su finalidad los simuladores se clasifican en:

a. Simuladores de apoyo a la capacitación y a la instrucción

Los medios de simulación de apoyo a la instrucción están orientados, principalmente, al manejo de un determinado material, armamento o equipo y tienen como finalidad mejorar la instrucción individual del combatiente y de la unidad hasta nivel tripulación/pieza. Como norma general facilitan el conocimiento en el funcionamiento básico de determinados materiales, equipos y sistemas en dotación en las unidades, mejoran la instrucción en el tiro como combatiente individual o como sirviente de un determinado sistema de armas o armamento específico, y mejora la instrucción de los componentes de un sistema de armas en un tipo de operación específica, así como la instrucción básica de tripulaciones de vehículos, piezas, entre otros.

8 Simulador para combate láserico entre tanques.

9 Video Juego de entrenamiento militar con parámetros militares que otorgan realismo.

Como ejemplo de simuladores de apoyo a la instrucción, se encuentra el polígono de tiro virtual, en sala para armas portátiles.

b. Simuladores de apoyo al entrenamiento y evaluación

Su finalidad es apoyar al entrenamiento de las unidades desde el soldado hasta el Ejército. Permiten el mando y control, la evolución táctica, la distribución de fuego de la pequeña unidad en diferentes ambientes, escenarios, condiciones meteorológicas, etc., así como el entrenamiento de las planas mayores de unidades de combate (UC) y cuartel general de unidades de armas combinadas (UACs), en la planificación y conducción de temas tácticos.

Se debe sumar a lo anterior que, en la mayoría de las ocasiones, permiten la evaluación del entrenamiento realizado por estas. Como ejemplo de este tipo de simuladores se citará el sistema de simulación de duelo láser (BT-46), "*serious games*" y el "Sistema de entrenamiento táctico computarizado" SETAC 3 (ver pie de nota 6).

1.4.3. Otros materiales

Finalmente, existen otros materiales que, sin tener la consideración de simuladores, participan en el apoyo a la preparación de las unidades mediante el empleo de técnicas y procedimientos que simulan el manejo de parte del material, armamento o equipo que se encuentra en dotación en las unidades.

a. Ayuda de instrucción

Son equipos o aparatos diseñados para representar el comportamiento de un determinado sistema, pero no cumple realmente con los parámetros para imitar y/o asemejar criterios artificiales reales. Principalmente corresponde a materiales didácticos de uso en el proceso de instrucción que facilitan el aprendizaje.

b. Emulador

Dispositivos electromecánicos que imitan, en mayor o menor medida, las funciones operacionales de un determinado sistema,

arma, instrumento o máquina, contribuyendo a facilitar la instrucción y el logro de competencias según estándares, normalmente con recursos, lugares y tiempos de trabajo reducidos. Corresponden a este tipo los subcalibres, dispositivos de entrenamiento de tiro y las municiones y artefactos explosivos inertes para instrucción.

CAPÍTULO II: ¿POR QUÉ SIMULAMOS LA GUERRA?

Hoy en día, el esfuerzo principal de los ejércitos más modernos del mundo es encontrar herramientas que permitan, por un lado, optimizar el uso de recursos y, por otro, tener una fuerza lo suficientemente entrenada para hacer frente a conflictos bélicos y apoyar en misiones distintas a la guerra, para, con ello, analizar situaciones pasadas, predecir situaciones futuras, entrenar situaciones comunes y, finalmente, aprender. Estas herramientas son la modelación y la simulación.

2.1. Modelos de simulación

Una de las razones más importantes para usar la simulación y, por ende, simuladores o sistemas de simulación, es que el modelo del mundo real es muy complicado y complejo para estudiar usando modelos procesados solo por estocástica.

A grandes rasgos, desarrollar modelos para la simulación o “modelo simulado” considera tres entidades básicas: un modelo teórico del sistema, el sistema real bajo consideración y la representación digital/computarizada del modelo (programa de simulación) (Accorinti y Martínez, 2016).

La actividad de crear el modelo desde un sistema real se puede definir como “modelación de simulación” o “modelamiento para simulación” y la actividad de la representación computarizada del modelo puede definirse como “programación de simulación” o simplemente “simulación”. Posterior a estas dos actividades, comienza la tarea de validación y verificación de la simulación.

Para la modelación de simulación, es necesario conocer que esta es una herramienta con la que se estudia el comportamiento de un sistema complejo. Cuando uno modela sistemas, se está interesado en

el comportamiento del sistema para ser analizado, entrenada su operación o para predecir su comportamiento futuro.

Los modelos son, finalmente, descriptores de sistemas.

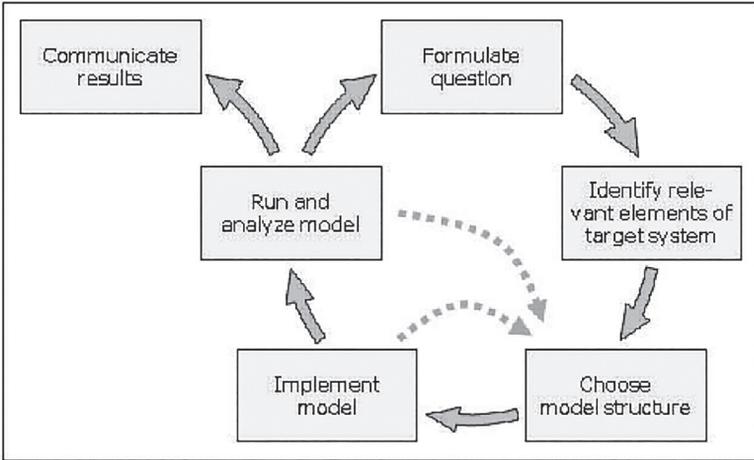


Figura N° 8: Ciclo de modelamiento para simulación.

Fuente: Bartha y Meyerb (2012).

Cabe señalar que, en estos días, el aspecto más difícil de realizar una simulación es la colección de Data de alta calidad, tabulada y suficientemente grande para realizar un análisis razonable.

Una de las características más importantes de la modelación es la validación, un modelo es una representación de la construcción y el trabajo de algún sistema que nos interesa. Un modelo es similar a, pero más simple que, el sistema que representa. El propósito de un modelo es permitir al analista predecir el efecto de los cambios en el sistema. Por una parte, el modelo debería ser una aproximación cercana al sistema real e incorporar la mayoría de sus características más sobresalientes; por otra, no debería ser tan complejo que resulte imposible comprenderlo y experimentar con él (NASA, 2016).

2.2. Modelar para la adquisición de capacidades militares

La modelación y la simulación son herramientas muy antiguas, pero que, en la actualidad, han alcanzado un relieve mayor, debido al uso

de computadoras para implementar modelos y hacerlos funcionar en el tiempo, de modo que, en la actualidad, es posible conocer el comportamiento de algo no solo en lo inmediato, sino en períodos que pueden abarcar años. En otras palabras, hoy es posible anticipar los efectos que una decisión del presente acarreará en el futuro.

El Ejército, como tal, es un sistema simulable y, por tanto, es posible predecir con un grado de certeza conocido cuál va a ser el efecto de una medida determinada en el futuro.

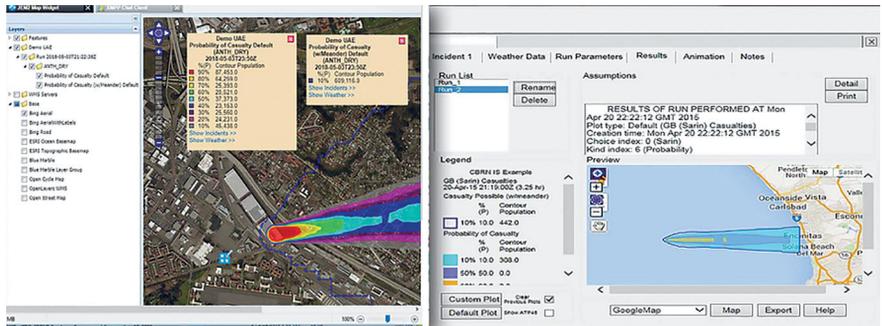


Figura N° 9: Joint Effect Model (JEM).¹⁰

Fuente: US Army (2019).

Si bien es posible anticipar en términos globales que un cambio en la modalidad presupuestaria necesariamente va a afectar la capacidad del sistema mientras aprende (o incluso en forma permanente), la simulación nos dice cuál va a ser la magnitud de ese cambio. Pero no solo eso, la simulación nos puede decir dónde se van a producir las atrofias más importantes, por cuánto tiempo, cómo va a repercutir en los otros sistemas y cómo esa repercusión va a ascender hasta la capacidad estratégica y cuánto la va a cambiar. Y este es un punto importante: la simulación entrega resultados de tipo cuantitativo, por lo que la autoridad que debe resolver lo hará sobre una base numérica aun cuando esa decisión deba contrastarse con estimaciones de tipo cualitativo como “más rápido”, “más lento”, “mejor”, “peor”, etcétera (CEMSE, 2014a).

¹⁰ *Joint Effects Model (JEM)* es un *software* y sus respectivas aplicaciones informáticas que apoyan al Departamento de Defensa de Estados Unidos, para la compra de capacidades militares, siendo esta la única herramienta acreditada, para, efectivamente, modelar y simular los efectos de armas químicas, biológicas, radiológicas y nucleares.

Sabemos que los sistemas poseen una complejidad intrínseca, porque las relaciones entre los agentes que los conforman engendran, voluntaria o involuntariamente, realidades nuevas e imprevistas (CEMSE, 2014a). Sabemos también que, para comprender y abarcar sistemas militares como el mismo Ejército, es más adecuado separarlos en subsistemas o sistemas interactuantes (sistemas de sistemas), sin alterar las relaciones internas de cada uno, esto es, su complejidad inherente. Para visualizarlo, pensemos en términos gravitacionales como el espacio tiempo. Este es como un manto que los cuerpos masivos deforman de tal manera que, en torno a este cuerpo, se forma un verdadero vórtice por el que los cuerpos menos masivos se precipitan hacia él.

Para efectos de nuestra analogía, digamos que el campo de batalla es como la grilla que, en este caso, es el espacio-tiempo. A continuación, digamos que este sistema de armas es el cuerpo masivo que se incorpora a esa hoja espacio-temporal. Así el efecto más directamente observable es el del sistema deformando la grilla o trama que representa el campo de batalla. En este caso, la pregunta que debemos responder es ¿cuánto se deforma ese campo de batalla con una adquisición de capacidad? Pero antes, ¿es posible medir esa deformación o existe la metodología para anticiparla? La respuesta es que sí es posible hacerlo mediante el recurso de la simulación. Como sabemos, para llevar adelante una simulación es necesario tener primero un modelo. Nuestro modelo estará basado en la perspectiva de los sistemas de sistemas, lo que nos obliga a desagregar el universo representado por la FT en componentes.

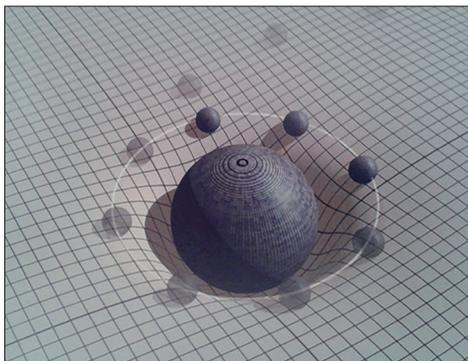


Figura N° 10: Analogía de la hoja de goma.

Fuente: CEMSE (2014b).

La esfera grande en el centro representa un cuerpo masivo como una estrella. Su peso curva la hoja en su entorno inmediato. Las esferas menores que la rondan son desviadas por la curvatura y giran alrededor de la esfera grande.

A su vez, la desagregación por componentes sigue el esquema jerárquico que se muestra en la siguiente figura:

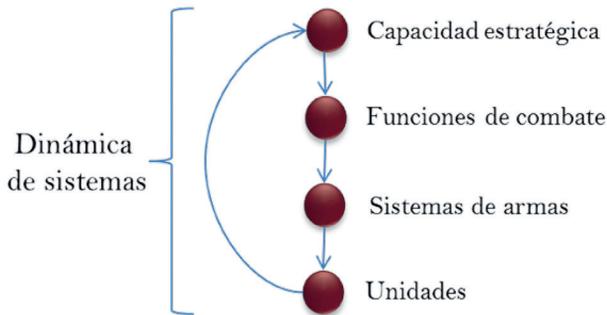


Figura N° 11: Desagregación por componentes.

Fuente: CEMSE (2014a).

Esta desagregación permite, en sentido amplio, conocer los efectos que cambios menores pueden producir en la capacidad estratégica. Puede considerarse, también, que no es un modelo presupuestario, sino un modelo de efectos en la capacidad estratégica. Responde, por tanto, a la interrogante de la deformación que anunciábamos en la analogía representada en la figura, esto es, ¿cuánto se deforma el campo de batalla con la adquisición de nuevos sistemas de armas y, más aún, qué efectos proyecta esa deformación en la capacidad estratégica del Ejército?

Los modelos deben construirse progresivamente y en el orden siguiente:

- Modelo 1: modelar el campo de batalla. ¿Cuál es el campo de batalla?, o bien, ¿dónde se sitúa y quiénes componen el campo de batalla? Este modelo es el que nos permitirá construir la grilla a la que hacíamos referencia más arriba.
- Modelo 2: modelo de adquisición de capacidades militares. Este modelo puede basarse en la metodología VSM o *Value Stream Mapping* (Mapeo de la cadena de valor). Este método permite ana-

lizar el estado actual y diseñar un estado futuro para una serie de eventos por el que pasa un producto o servicio desde el inicio hasta que llega al cliente.

- Modelo 3: esquema de desagregación de capacidades. Este modelo es el que anunciamos precedentemente y consiste en el modelamiento de sistemas jerárquicos basado en componentes. Los grandes sistemas de control (como el Ejército) son intrínsecamente heterogéneos. Las técnicas de modelamiento basadas en componentes permiten visualizar los bloques constitutivos de un modelo como 'cajas negras.' (...) La interfaz de un componente y el esquema de comunicación entre componentes quedan especificados, en tanto los contenidos de un componente pueden ser implementados utilizando un modelo distinto (ver figura N° 12). Un diseño basado en componentes es una manera sencilla de integrar modelos diferentes, formados por componentes heterogéneos y, a la vez, jerarquizados. Esta composición jerárquica permite manejar la complejidad de un modelo mediante el ocultamiento de información y la reutilización de componentes.

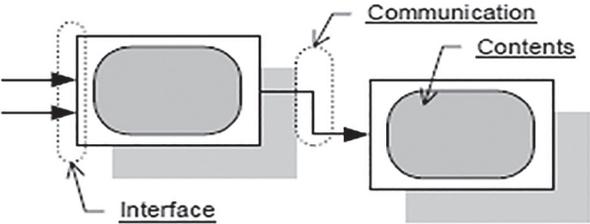


Figura N° 12: Modelos concatenados.

Fuente: CEMSE (2014b).

En otras palabras, el modelo de desagregación permite simular el ejército según jerarquías, evaluar sus costos y explorar y proyectar sus capacidades. La diferencia que se establece con los modos tradicionales de evaluación de efectos de una acción (o de la inacción) es que el cálculo computacional puede realizar millones de operaciones en forma simultánea, superando, así, la capacidad de cualquier persona o grupo de personas para encontrar fallos, retrasos, inconsistencias y, por ende, de anticipar y proyectar soluciones sin tener que afectar el sistema real.

2.3. Modelar para el análisis de capacidades militares

En el primer capítulo de este libro, se menciona que existen tres tipos de simulación: virtual, en vivo y constructiva. Según nuestro criterio la constructiva es la más compleja a la hora de entrenar a un comandante con su estado mayor. Por lo que vale la pena profundizar en ella al ser la encargada del análisis militar mediante técnicas de modelación y simulación.

Bajo la perspectiva del entrenamiento y la educación, la simulación permite enfrentar entidades (sistemas de armas, vehículos, formas de vida), en un terreno modelado (datos reales), bajo una doctrina propia, gracias a la capacidad del *software* de simulación que permite programar patrones y capacidades reales que luego el *software* enfrenta bajo un modelo probabilístico (CEMSE, 2018b).

La simulación constructiva está orientada a dar solución a la interrogante "qué pasa si", en función de una serie de variables que componen y alteran el campo de batalla en forma constante. Es por lo anterior que es altamente utilizada en organizaciones militares para diferentes propósitos, como los son:

- Educación.
- Entrenamiento.
- Investigación de la doctrina.
- Validación de nuevo material.
- Comprobación de capacidades.

Es así como para poder generar una simulación del tipo constructiva es importante entender que se debe realizar en fases, estas son:

- Diseño.
- Parametrización y configuración de entidades.
- Escenario (terreno).
- Doctrina (planes).

2.4. Modelos de simulación para el análisis

El diseño de la simulación constructiva o enfocada en el análisis se puede dividir en dos fases, diseño de una red de *hardware* que so-

porte en el tráfico de datos concurrente y una segunda que define el protocolo de simulación sobre el cual se va a construir el modelo *Live Virtual Constructive* (LVC).

2.5. Protocolos de comunicaciones

Existen dos protocolos de comunicaciones, la Simulación Interactiva Distribuida o *Distributed Interactive Simulation* (DIS), en la que se busca poseer un protocolo estándar, para generar un entrenamiento basado en simulador en tiempo real, a través de variados equipos servidores y la Simulación con Arquitectura de Alto nivel o *High Level Architecture* (HLA) que, al igual que DIS es para simulación distribuida, enfocada en realizar múltiples simulaciones de diferentes lenguajes de programación. La diferencia entre ambos protocolos radica en la cantidad y tipo de información que transita por la red. En DIS se envían paquetes que permiten identificar a una entidad en la simulación, por ejemplo todos aquellos estados que permiten identificar el nombre de la entidad con su código SISO, el tipo de munición, su cantidad y los objetivos rentables (CEMSE, 2014b).

2.6. Modelo de parametrización

Es un proceso mediante el cual se agregan las características reales propias de cada uno de los sistemas de armas, vehículos y hombres que están desplegados y cargados en el simulador. Es en esta etapa en donde las entidades van a asumir cierta capacidad de combate y van a entender e identificar a los posibles adversarios en el campo de batalla.

Algunas de las características que se establecen en esta fase son:

- Alcance de los sistemas de armas (SAs).
- Cantidad de SAs montado sobre un vehículo.
- Velocidad.
- Peso del vehículo.
- Capacidad de vadeo.
- Resistencia del suelo.

Adicionalmente se deben configurar las características de "hit" y de "damage". Estas propiedades van a permitir recrear cómo se desen-

vuelve una entidad frente al adversario según la doctrina y la experiencia que se puede rescatar del entrenamiento de las unidades de combate, como lo representa la siguiente figura.

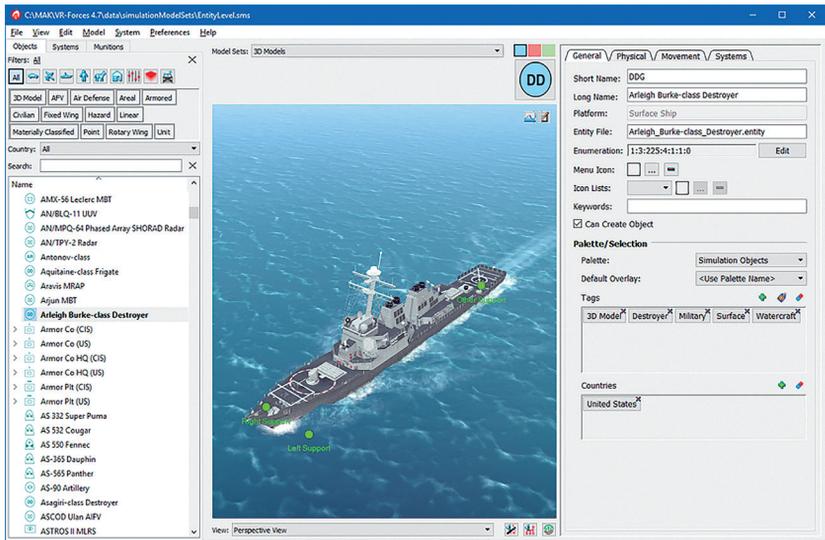


Figura N° 13: Parametrización de las entidades de una simulación constructiva.

Fuente: VT MAK (2019).

Este tipo de información es de suma relevancia, ya que en una simulación del tipo constructiva, en donde no hay interacción entre usuarios, sino que es un modelo el encargado de enfrentar a las entidades, las experiencias son las que finalmente van a permitir modelar y simular de manera tal de poder recrear cómo sería un enfrentamiento con los propios medios en la vida real (CEMSE, 2014b).

2.7. Modelo geográfico de simulación

Este es uno de los componentes fundamentales a la hora de desarrollar un sistema de simulación, debido a que permite recrear el comportamiento de las unidades en la zona real de despliegue.

Un terreno de simulación corresponde a un modelo de tres capas en donde cada una de ellas representa un elemento geoespacial que permite configurar un escenario de simulación, tal como se ejemplifica en la figura a continuación.

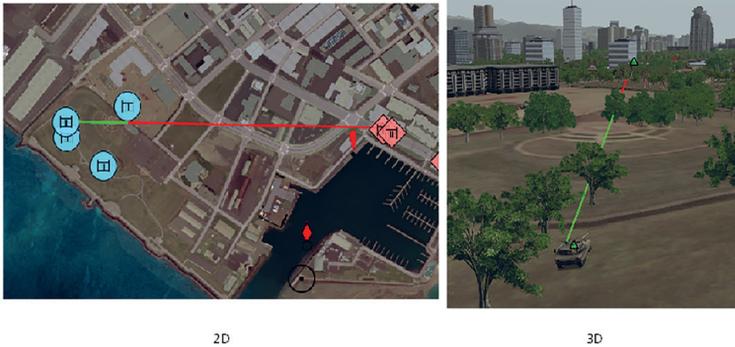


Figura N° 14: Modelo de 3 capas.

Fuente: VT Mak (2019).

El escenario se construye combinando el modelo digital de elevaciones y la imagen satelital. La cartografía digital permite identificar aquellas zonas que por sus características van a corresponder a vías de comunicación, vegetación, obstáculos naturales y artificiales. Con esto se consigue que el desplazamiento de las unidades sobre el terreno sea en función de las limitaciones que el entorno ofrece.

Existen dos tipos de terrenos de simulación: un grupo denominado geoespecífico y otro denominado geotípico. La diferencia entre estos tipos radica en el origen de la información, siendo un escenario geotípico aquel que solamente es una representación artística de la realidad no siendo obligatorio que la información representada tenga concordancia con los elementos presentes en la zona geográfica real; en cambio, un escenario geoespecífico es aquel en donde toda la información recopilada modelada y representada corresponde a lo que existe realmente en la zona geográfica.

En algunos casos y, dada la magnitud de la simulación, es necesario hacer una implementación de un servidor de mapas que permite vía *streaming* solicitar la porción de terreno en donde está cargada la simulación. Esta técnica de generación de escenarios es muy práctica para la modelación constructiva de escenarios muy extensos y tridimensionales (Ejército, Armada y Fuerza Aérea). La mayor limitación de este tipo de escenarios es que no permite levantar mucha información vectorial representativa de zonas urbanas. Para el caso de simulación de pequeñas unidades de nivel táctico, es recomendable

generar terrenos de simulación en formatos propietarios como lo son el FLT de *Open Flight*.

2.8. Modelo de doctrina

La doctrina corresponde al comportamiento que van a tener las unidades que se mueven sobre los escenarios de simulación. Esta capacidad se puede implementar bajo dos corrientes: una es la generación de planes y la otra es la creación de pequeños *scripts* que permitan recrear conductas asociadas a la doctrina.

El desarrollo de planes y *script* es transversal a todos los *software* de simulación, como también el nivel de desagregación de las entidades de simulación.

La desagregación está directamente relacionada con la capacidad de motor de simulación para interpretar a un grupo de entidades individuales como una unidad superior de combate. No es lo mismo generar planes a diez infantes que a una escuadra, básicamente por el costo que tiene en tiempo para el usuario generar tantas órdenes. Es por eso por lo que siempre es importante definir el nivel de la simulación y los objetivos que se desean verificar.

En su mayoría, el desarrollo de planes obedecen a la lógica de "gatilladores", lo que equivale a decir que los eventos van a ir sucediendo en función de etapas, las que desencadenan nuevas conductas y estas, a su vez, nuevos planes, todo lo anterior asociado a una doctrina de empleo.

Cabe preguntarse por qué es tan importante la doctrina de empleo. Como se mencionó anteriormente, en la simulación constructiva todo es simulado, desde el terreno hasta las entidades. La única forma de interactuar es por medio de planificación y esta, a su vez, obedece a parámetros reales asociados a las entidades cargadas en el terreno, pero sin vida o comportamiento espontáneo. El cómo se mueven y cómo atacan o se defienden está definido por una doctrina y esta, a su vez, está representada por planes y estos, por una serie de instrucciones que se les dan a las entidades de simulación.

A continuación se muestra un ejemplo de un plan, en el que interactúa un vehículo Marder 1A3 y dos infantes. La misión es simple. Un

infante tiene que embarcar en el vehículo. Una vez que lo ha realizado, el segundo infante deberá embarcar. Con los infantes en su interior, el vehículo tendrá que dirigirse por los caminos hacia el cuartel.



Figura N° 15: Plan de traslado simple en VR-Forces.

Fuente: VT Mak (2019).

Para la comprobación y conducción de planificación y verificación de capacidades militares (TOEs), se utilizan *software* de simulación constructiva como el VR-Forces, capaz de crear escenarios sintéticos, un campo de batalla virtual con personal, equipamiento y doctrina que ejecutan un plan. Poseen una organización y se mueven en un escenario cartográfico nacional o internacional, con el fin de entrenar la toma de decisiones durante la simulación.

Cabe señalar que, con este sistema de simulación constructiva, se comprueban las tablas de organización y equipamiento (TOEs), la planificación de operaciones de guerra y de no guerra, además se podrían entrenar los cuarteles generales y planas mayores divisionarios, que, actualmente, no tienen las oportunidades de entrenar en un simulador y los futuros comandantes, alumnos de la Academia de Guerra (ACAGUE), en sus juegos de guerra. Actualmente, los alumnos de la ACAGUE entrenan mediante el simulador “Sistema de Entrenamiento Táctico Computarizado” o SETAC.

Finalmente, este *software* se encuentra en proceso de análisis de pertinencia para su aplicación en otras unidades, ya que, además de ser adquirido como un simulador, permite crear soluciones tecnológicas con distintas interfaces según las necesidades del usuario.

2.9. Simulación de comunicaciones

Una de las capacidades que posee el CEMSE es el *software* de simulación constructiva VR-Forces, el que permite comprobar la planificación de operaciones militares. En este contexto surge la necesidad de supervisar una tarea que este *software* no realiza de manera precisa, como lo es las comunicaciones dentro del campo de batalla. Para realizar esta tarea, se cuenta con el *software* QualNet.

Desarrollado por *Scalable Network Technologies*, QualNet es un conjunto completo de herramientas, para modelar grandes redes cableadas e inalámbricas. Proporciona un entorno integral, para diseñar protocolos, crear y animar escenarios de red y personalizar su rendimiento. Utiliza la simulación para predecir el comportamiento y el rendimiento de las redes para mejorar su diseño, operación y administración. QualNet será ocupado para controlar las comunicaciones de la simulación construida en VR-Forces.

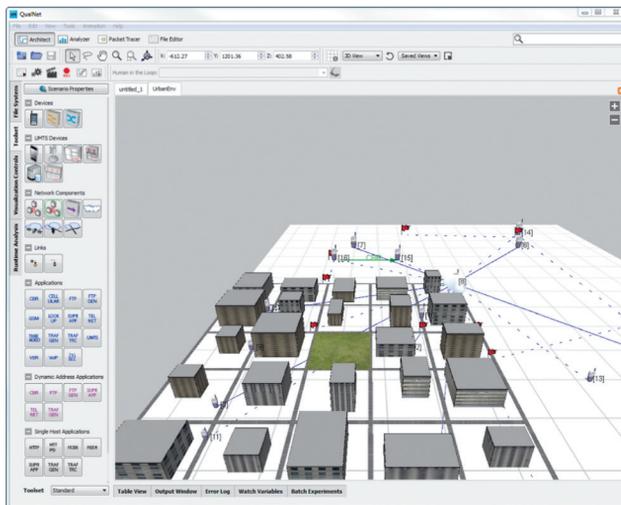


Figura N° 16: Ilustración del simulador de comunicaciones QualNet.

Fuente: *Scalable Network Technology* (2019).

2.9.1. Propósito de la simulación de comunicaciones

VR-Forces permite construir escenarios simplemente con “señalar y *cliquear*”. Dentro de un escenario, los vehículos interactúan con

el terreno, siguen caminos, evitan obstáculos, detectan y atacan fuerzas enemigas. Las entidades también se comunican entre sí, envían y reciben comandos, y realizan otras operaciones centradas en la red. Esto, asumiendo comunicaciones perfectas, es decir, todos los mensajes son enviados, sin importar el ambiente de comunicación. Con el fin de acercar la simulación a las exigencias del campo de batalla moderno, es necesario representar de manera fiel las comunicaciones. Por esto, en el proyecto se realiza la integración entre VR-Forces y QualNet. Así las comunicaciones son representadas mediante métodos realistas y con opción de cambiar parámetros de forma manual.

2.9.2. Ámbito del Sistema

La finalidad del proyecto es garantizar que QualNet se encargue de las comunicaciones de las entidades de VR-Forces y comprobar las condiciones de comunicaciones para distintos perfiles de terreno.

El proyecto se limita a configurar y comprobar que la comunicación de las entidades de VR-Forces sea gestionada a través de QualNet.

Con este proyecto se pretende estandarizar una herramienta de apoyo para el CEMSE y, de esta manera, la planificación en el simulador VR-Forces refleje las comunicaciones rigurosamente.

2.9.3. Duplicar escenario en QualNet

Para duplicar el escenario creado en VR-Forces, se usan los archivos generados por el "Synchronizer", con las siguientes consideraciones.

- Dado el tamaño del mapa usado, "Synchronizer" no obtiene el mapa en su totalidad, por lo que es necesario cargarlo manualmente.
- Las entidades en QualNet también son cargadas manualmente. El número de entidades puede ser distinto del número de entidades en VR-Forces, pero el número de entidades en QualNet debe ser igual o superior al número de entidades en el archivo "Entities".

- Por cada grupo de entidades es necesario una subred (representada por una nube) y las entidades que posean capacidad de comunicación deben conectarse a esta subred.

Con estas consideraciones, se replica el escenario como se ve en figura N° 16. Es importante notar que no es necesario que las unidades estén en la misma posición que en VR-Forces, ya que QualNet se encarga de ubicarlas apropiadamente cuando comience la simulación conjunta y se reciba información del RTI.

Por último, no todas las entidades deben estar reflejadas o unidas a una subred, solo es necesario para las que aparezcan en el archivo “Entities”. De cualquier modo, QualNet no conectará con RTI si existe algún problema.

2.9.4. Secuencia de eventos

Una típica federación HLA consistente en QualNet y un cliente federado presenta la siguiente secuencia de eventos:

- 1) El cliente carga el escenario y se une a la federación.
- 2) QualNet carga el escenario equivalente y se une a la federación.
- 3) QualNet espera a la primera actualización de Entity enviada por el cliente federado.
- 4) La simulación en QualNet comienza cuando la primera actualización de Entity es recibida (figura N° 17).

```

Partition 0, Node 4 (-18.349014, -70.287175, 1397.195348).
Partition 0, Node 5 (-18.349014, -70.287175, 1397.195348).
Partition 0, Node 6 (-18.342388, -70.287430, 1314.03634).
Partition 0, Node 7 (-18.353540, -70.287186, 1346.138189).
Partition 0, Node 8 (-18.356541, -70.286066, 1414.511746).
Partition 0, Node 13 (-18.324263, -70.327966, 760.542252).

.hla-entities file = C:/snt/qualnet/5.1/scenarios/user/asdasd/test/test.hla-entities.
.hla-radios file = C:/snt/qualnet/5.1/scenarios/user/asdasd/test/test.hla-radios.
.hla-networks file = C:/snt/qualnet/5.1/scenarios/user/asdasd/test/test.hla-networks.

FED: Trying to create federation VR-Link ...
FED: Federation execution already exists.
FED: Trying to join federate QualNet to federation VR-Link ...
Setting max UDP packet size to 15000 bytes
FED: Successfully joined federation.
FED: Press Ctrl-C to end program.

Waiting for first HLA discoverObjectInstance callback ... received.
Initialization completed in 43.267 sec at: 2018-10-05 14:13:50.596
  
```

Figura N° 17: Comprobación de la conexión en QualNet.

Fuente: CEMSE (2018a).

- 5) Cuando el cliente federado mueve una entidad, se actualiza la posición de las entidades y el RTI envía una actualización de atributos de entidades. Cuando QualNet recibe la actualización de atributos de entidades, consulta los archivos de Entities y radio para mover los apropiados nodos de QualNet.
- 6) Durante la simulación, el cliente federado envía interacciones *Application Specific Radio Signal* (ASRS), para solicitar modelado de efectos de comunicaciones. Cuando QualNet recibe interacciones ASRS, modela el tráfico y responde de la siguiente manera.
 - Si la comunicación es exitosa, QualNet envía una interacción de *Process Message*, que indica que el mensaje fue entregado en el destino. Esta interacción se envía al cliente tan pronto como el mensaje modelado se entrega al nodo de destino en QualNet.
 - Ya sea que la comunicación sea exitosa o no, QualNet envía una interacción de "Tiempo de espera" que resume el estado de la entrega a todos los destinatarios potenciales. Esto ocurre cuando se completa el procesamiento del mensaje: después del tiempo de espera indicado en la interacción ASRS original o después de que todos los destinatarios potenciales hayan procesado la señal, lo que ocurra primero.
- 7) El cliente federado también indica si las entidades están dañadas o destruidas, o si radios alojadas están prendidas o apagadas. QualNet modelará esos efectos apropiadamente.
- 8) La simulación en QualNet corre por el tiempo especificado por el parámetro de *QualNet Simulation-Time*, sin consideración de la simulación en el cliente. El archivo de estadísticas es generado cuando la simulación de QualNet termina.

2.9.5. Simulación conjunta

Se comienza la simulación en QualNet, siguiendo estos pasos:

- 1) Comenzar la GUI de QualNet.
- 2) En el panel de File System, navegue al archivo de configuración (.config) de QualNet que contiene el escenario equivalente al escenario de VR-Forces, haga clic-derecho y elija Open.

- 3) Luego de que el escenario se finalice de iniciar, presione el botón de Play para comenzar la simulación.
- 4) Se muestra la ventana de conexión de RTI. Elija la conexión de RTI que es usada por VR-Forces y presione Connect. QualNet se unirá a la federación y la ventana de estado de RtiExec se actualizará.

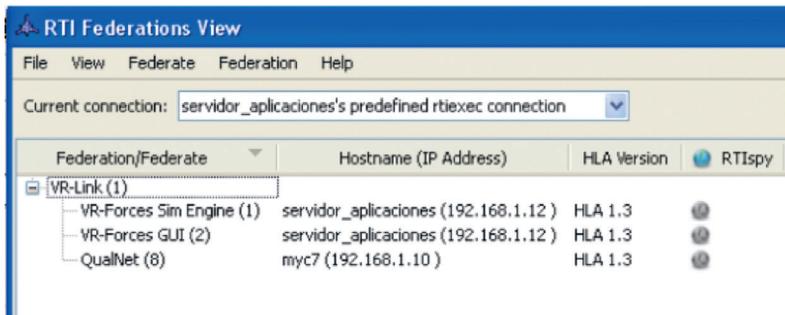


Figura N° 18: Ventana de RTI con QualNet y VR-Forces conectados.

Fuente: CEMSE (2018a).

CAPÍTULO III: SIMULACIÓN PARA EL ENTRENAMIENTO

La simulación para el entrenamiento es la razón de ser de la mayoría de los sistemas de simulación hoy en día, los que son fundamentados básicamente por un gran pilar: la fidelidad.

El simulador, copia fiel del sistema de arma a entrenar, generará en el ser humano un aprendizaje óptimo, mediante el uso de interfaces virtuales y reales, sumado a algoritmos y modelos de comportamiento que permitan una sesión de entrenamiento útil.

La mezcla de realidad virtual y real de las nuevas tecnologías computacionales está mejorando el aprendizaje, entrenamiento y la vida cotidiana de las sociedades para enfrentar los desafíos del crecimiento exponencial del conocimiento, las redes sociales y los cambios demográficos.

3.1. Simulación para el entrenamiento de la toma de decisiones

El desafío de aportar tecnológicamente al entrenamiento de la toma de decisiones ha estado presente por décadas en el entrenamiento militar. Sin embargo, pocas aproximaciones a entrenar la mente de un comandante se han desarrollado en los últimos años.

Lo anterior, debido a múltiples factores, entre ellos, la creencia de que aprender por la historia, aprender por la doctrina o aprender mediante errores cometidos nos han obligado a cambiar de la pedagogía clásica a buscar la metodología para entrenar a un ser altamente complejo, pero más o menos integrado, que ya no le basta con un aprendizaje no intuitivo y aislado en su entrenamiento normal.

En adición a esto, según Velásquez (2005) los seres humanos tomamos decisiones sobre la base de máximo 16 variables. La expresión

matemática base de las redes sociales enuncia que, dado un número n de nodos, si cada nodo se encuentra conectado a todos los otros, entonces el número de conexiones será igual a $n \times (n-1) \div 2$. Así, si se tienen dos nodos, el número de relaciones será igual a $(2 \times (2-1)) \div 2 = 1$. Si se tienen 3, el número será igual a 3; si se tienen 4, el número será igual a 6; si se tienen 5, el número será igual a 10. El problema, entonces, es claro, las relaciones entre los nodos aumentan o crecen más rápidamente que los nodos (a medida que estos van aumentando), lo que puede verse en la figura siguiente.

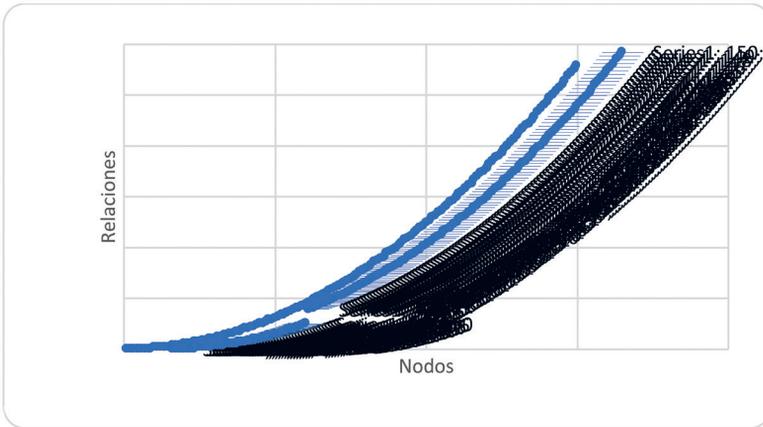


Figura N° 19: “Aumento acelerado del número de relaciones a medida que el número de nodos aumenta”.

Fuente: Velásquez (2005).

Lo anterior implica que no solo debe verse la estructura en términos de las entidades que la conforman (nodos), sino también y, de manera muy especial, en cuanto a las relaciones que esos nodos determinan y que son los que, a la larga, van a influenciar la calidad de la respuesta. Una analogía hasta cierto punto adecuada es de una red de pesca. Los nudos de la red representan los nodos y los lazos de cuerda entre cada nudo representan la relación. Una red que tuviera un tejido de seis o siete nodos sería muy fácil de desplegar. Pero una red que tuviera quinientos ya no lo sería tanto. Es cierto que ambas son redes, la pequeña y la grande, y ambas, por tanto, son cualitativamente iguales. Es lo cuantitativo lo que las hace cambiar (la cantidad afecta la calidad) y es esto, en consecuencia, lo que complejiza el empleo y lo que obliga, por ende, a preparar el despliegue con anticipación.

3.2. Modelos de simulación para el entrenamiento

Para los simuladores de instrucción y entrenamiento, el primer objetivo de un simulador es generar un aprendizaje óptimo en el ser humano, mediante la utilización de interfaces físicas o digitales que, en conjunto con modelos de aprendizaje, permitan diseñar un simulador eficaz (CEMSE, 2014a).

Para lo anterior, es necesario tener en cuenta los modelos teóricos de "toma de decisiones", la conducta, la cognición, los análisis de tareas y la fidelidad esperada del sistema de simulación a desarrollar, el que debe incidir en la transferencia de habilidades desde el mundo virtual al mundo real.

Los modelos de aprendizaje dentro de simuladores se han convertido en parte integral de ambientes de aprendizaje, tecnologías de rendimiento y sistemas de gestión de conocimiento a lo largo de los últimos 60 años.

3.3. Metodología de juegos

Al planificar entrenamiento simulados, los comandantes militares suelen pensar solo en qué recursos necesitan para destruir fuerzas enemigas. Sin embargo, esta metodología no es lineal ni solo un choque de fuerzas contrarias, también consideran cómo sus estrategias afectarán el comportamiento del enemigo. Las operaciones incluyen la supresión de las defensas enemigas, la interdicción de las fuerzas en movimiento y los ataques contra misiles balísticos de teatro, entre otras acciones multivariantes, donde también actúa, la moral, la disuasión, el convencimiento y el engaño.

Por todo lo anterior, la teoría de juegos ha sido la mejor forma de modelar y entender los efectos de la estrategia y las capacidades de fuerzas azules contra rojas. La teoría de juegos utiliza las matemáticas para modelar la toma de decisiones humanas en situaciones competitivas. Es ideal para analizar situaciones militares, porque representa la situación realista en la que ambas partes son libres de elegir sus mejores "movimientos" y ajustar su estrategia con el tiempo. Los planificadores militares pueden aplicar estos principios a las operaciones militares dentro de un simulador. El método consta de los siguientes pasos y características.

La simulación es un ejercicio de manejo de información y de juego de roles. Se centra en la toma de decisiones de manera individual o colectiva. Es un ejercicio teórico, también llamado de escritorio, que se puede desarrollar en un solo espacio cerrado, o bien, en varios sitios intercomunicados.

Se desarrolla a partir de un escenario y un guion que define las actividades, el flujo de información y los roles a desempeñar por los participantes. A cada uno de los participantes se le asigna un rol que puede ser el mismo que desempeña en su sitio de trabajo o cualquier otro. Se deben proporcionar todas las características del personaje y la información básica para interpretarlo.

El desarrollo de los sucesos transcurre en escalas de tiempo simulado determinadas en el guion, el que es controlado por el equipo que coordina el ejercicio. Cada trama de un ejercicio se maneja en períodos relativamente cortos, por lo que se hace necesario recurrir al uso de saltos de tiempo.

El escenario planteado que incluye situaciones, problemas y recursos es revelado secuencialmente en la medida que se avanza en el ejercicio. La distribución de tiempo incluye el espacio de preparación, conocimiento o repaso de roles, análisis de información previa, tiempos razonables para la solución de los casos y período de evaluación.

Se facilita información por medio de mensajes intermitentes que pueden ser enviados en forma verbal, impresa, digital o de otras formas. En los ambientes de trabajo se pueden recrear condiciones similares a las que podrían vivirse en una situación de desastre, como ruido, iluminación, temperatura, fallas en los servicios (agua, luz, comunicaciones), incertidumbre, información contradictoria o incompleta, entre otros.

El controlador dispone de la información actualizada del escenario. Eventualmente puede asumir roles de personajes que no estén representados en la situación descrita.

CAPÍTULO IV: SISTEMAS DE SIMULACIÓN

En este capítulo se revisarán los sistemas de simulación como un sistema por desarrollar, tanto su *software*, como su integración y control, entre los distintos subsistemas que lo conforman.

Como ya sabemos, lo que diferencia a un simulador de una ayuda de instrucción es su capacidad –digital– de reportar y realizar un *feedback*, a través de un *software*, el que debe integrarse, por lo general, con sistemas físicos (*hardware*), escenarios cartográficos, sistemas de armas y seres humanos.

Para concretar este desarrollo, preponderantemente computacional, es necesario cubrir varios aspectos dentro del simulador. Especificaremos cuatro de ellos en este capítulo:

1. Diseño del *software*.
2. Modelo de simulación.
3. Diseño de la base de datos.
4. Diseño del administrador de entrenamiento.

En el diagrama mostrado en la figura N° 20 se puede apreciar una interacción entre estos componentes del *software* de control de un sistema de simulación y el desglose de sus funciones principales.



Figura N° 20: “Componentes de los sistemas de simulación”.

Fuente: Collins Aerospace (2019).

4.1. Sistema operativo

A lo largo de mi trabajo, he podido evidenciar que uno de los sistemas operativos mayormente utilizados en simuladores es el Ubuntu Server 16.04 LTS. Este es un sistema de código abierto, una distribución de Linux basada en la arquitectura Debian. La versión de Ubuntu instalada en una LTS se caracteriza por ofrecer un sistema estable y, sobre todo, de soporte prolongado. De esta forma, cuanto más tiempo pase y más actualizaciones reciban, más estable será. Las novedades de fondo de la versión instalada van dirigidas al ámbito Servidor y Nube, que es donde más ha avanzado Ubuntu.

4.2. Servidor Web

Estos son los programas especialmente diseñados para transferir datos de hipertexto, es decir, páginas web con todos sus elementos (textos, *widgets*, *banners*, etc.). Estos servidores web utilizan el protocolo HTTP. Los servidores web están alojados en un computador que cuenta con conexión a *Internet*. El web server se encuentra a la espera de que algún navegador le haga alguna petición, como

acceder a una página web, y responde a la misma enviando un código HTML mediante una transferencia de datos en red.

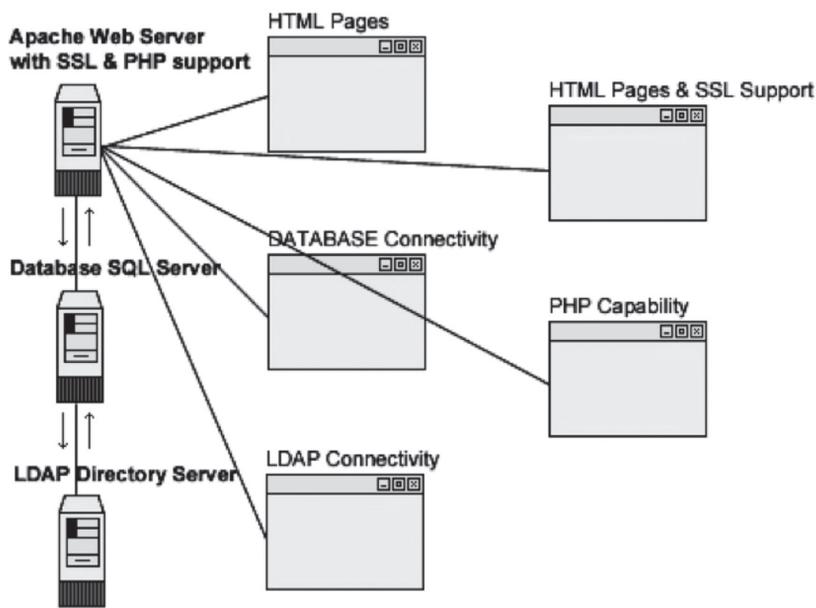


Figura N° 21: “Esquema de funcionamiento de Apache”.

Fuente: CEMSE (2018b).

Uno de estos servidores es el Apache Server, cuyo nombre proviene de la frase inglesa “a patchy server”,¹¹ se trata de un poderoso servidor web completamente libre, ya que es un *software* Open Source con licencia GPL (General Public License). Una de las ventajas más grandes de Apache es que es multiplataforma, es decir, puede trabajar con diferentes sistemas operativos y mantener su excelente rendimiento.

Desde el año 1996 es el servidor web más popular del mundo, debido a su estabilidad y seguridad. Apache sigue siendo desarrollado por la comunidad de usuarios que trabaja bajo la tutela de Apache Software Foundation.

¹¹ En español: un servidor parchado (nota del autor).



Figura N° 22: “Vista de instalación de Apache”.

Fuente: CEMSE (2018b).

4.3. Diseño físico del *software*

Uno de los objetivos principales del diseño físico es almacenar los datos de modo eficiente para ser utilizados y consumidos por un simulador. Desde el punto de vista de la eficiencia, tomamos en cuenta los siguientes factores para el desarrollo de la base de datos:

- Productividad de transacciones: es el número de transacciones que se quiere procesar en un intervalo de tiempo.
- Tiempo de respuesta: es el tiempo que tarda en ejecutarse una transacción. Desde el punto de vista del usuario, este tiempo será el mínimo posible.
- Espacio en disco: es la cantidad de espacio en disco que hace falta para los ficheros de la base de datos.

Los dispositivos involucrados son:

- Memoria principal.
- CPU.
- Entrada/salida a disco.
- Red.

Cada uno de estos recursos afecta a los demás, de modo que una mejora en alguno de ellos puede provocar mejoras en otros.

4.4. Sistemas complejos

Las operaciones militares son problemas complejos *per se*, debido a que ocurren en variadas dimensiones (económicas, comerciales, políticas e, incluso, deportivas) lo que necesita una coordinación general interna y externa. Todas estas situaciones inherentes del problema conducen a problemas técnicos de comunicaciones, planificaciones y recursos que se estresan hasta la falla. En las dimensiones del mundo real, las herramientas para analizar esto son variadas y se han reflejado en investigaciones computacionales a lo largo de los años (Cohen y Levesque, 1991).

Por ejemplo, la planificación y ejecución de una operación militar puede envolver *inputs* de variadas áreas del conocimiento, ya sea del terreno, de tácticas adversarias, de clima, de cultura, más la lógica de cientos o miles de distintos sistemas de armas, incluyendo al ser humano y sus diferentes roles en este *loop*.

4.5. Flujo de la información

Los flujos de información que se generan en este proceso del mundo real se conectan con la incertidumbre de una manera rica y fascinante. Es bien conocido el dicho “un plan dura el primer tiro”. Esto, ya que es imposible saber *a priori* qué parte de todo este sistema de sistemas va a fallar o cuáles van a ser sus reales resultados.

Los seres humanos, pertenecientes a este sistema, simplemente no pueden solo compartir información de los sistemas computacionales, esto debido a que sería una marea de información no analizada, que, finalmente, estresaría a los operadores por su volumen, su ruido y su incertidumbre.

Los modelos de simulación son, por una parte, un flujo de información de los problemas descritos anteriormente. A continuación, se muestra un flujo de información ejemplificador del simulador de emergencia.

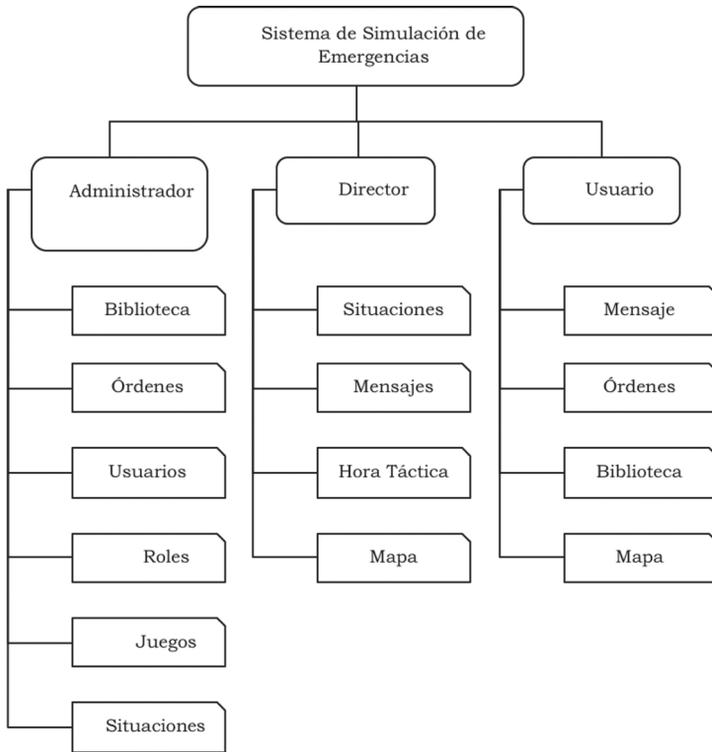


Figura N° 23: “Flujo de atributos de usuarios de un simulador”.

Fuente: CEMSE (2018b).

4.6. Integración de un simulador

El diseño establecido para un sistema de simulación exige que la comunicación entre el *hardware* y el *software* se realice mediante protocolos establecidos. Para los sistemas de simulación virtuales es, normalmente, un envío de datos por UDP (User Datagram Protocol) a través de un *router* y una *intranet* creada para la transición de los paquetes de información, existiendo un *gateway* con el cual se reciben los datos enviados por el sistema electrónico implantado en los sistemas de armas y que son enviados a la aplicación informática a través de una red creada.

La información entregada por los distintos sensores implantados en cada fusil (disparador, cargador, bloqueo de disparo, preparador, sensor de presión en el disparador), además de la información entre-

gada por un acelerómetro que mida la inclinación del fusil en cada momento, es parte del sistema de simulación de tiro diseñado y desarrollado en el Centro de Modelación y Simulación del Ejército, en colaboración con las Fábricas y Maestranzas del Ejército (FAMAE).

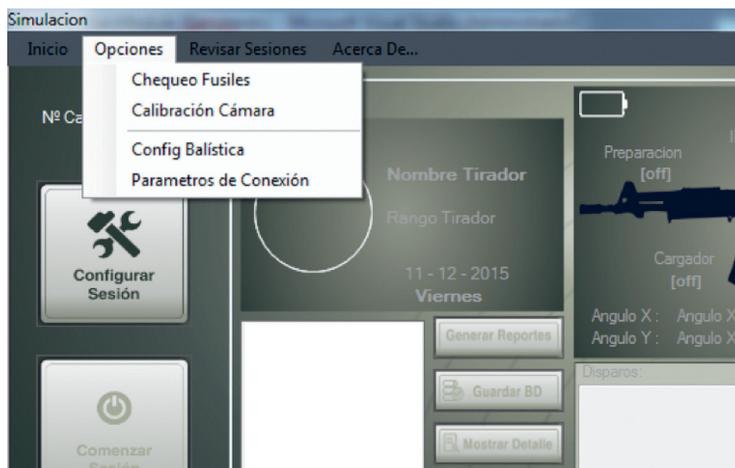


Figura N° 24: "Opción Chequeo Fusiles, menú de configuración".

Fuente: CEMSE (2015).

En el caso del Polígono de Tiro Virtual representado en la figura anterior, detrás de esta interfaz de control de armas existe una conexión hacia el *gateway* a través de la intranet creada para el simulador, conexión con la cual se maneja la recepción de datos desde el sistema de circuitos de cada fusil.

En esta clase se crea un cliente UDP encargado de manejar la comunicación entre el *software* y los circuitos electrónicos de los sistemas de armas a través de la intranet. Al manejar un puerto de enlace definido para la aplicación, se establece un método que se encarga de recibir la información a través de una hebra que procesa los datos que llegan desde el *gateway* al *software*, información que contiene el estado de todos los sensores insertados en los sistemas de armas.

4.7. Aplicación informática

Otra parte del *software* integrada a un simulador es una aplicación informática móvil que permite a los instructores prestar ayuda a los

operadores al momento de realizar las sesiones de entrenamiento. Esta ayuda se refleja al llevar un control de la operación del usuario realizada en cada sesión y al ir corrigiendo a los operadores en tiempo real, según como se desempeñen en cada sesión de entrenamiento ejecutada. Para esto, se recomienda hacerlo, en general, con teléfonos inteligentes y tabletas rugorizadas, en las que se ejecuta una aplicación que, en su normalidad, contiene las siguientes funcionalidades:

- Conexión al *software* del servidor mediante bluetooth u otras comunicaciones inalámbricas.
- Control de operaciones en tiempo real.

4.8. Conexión inalámbrica

La interacción entre la aplicación informática y el *software* contenido en el servidor del sistema se realiza a través de una conexión inalámbrica, como *bluetooth*, lo que enmarcará los dispositivos involucrados.



Figura N° 25: “Aplicación informática en tablet”.

Fuente: CEMSE (2015).

Al presionar la conexión se llamará, primero, al método computacional de la clase, el que se encarga de revisar si existe o no una conexión entre los dispositivos. En caso de que exista conexión, esta se termina y la aplicación se cierra enviando un mensaje al *software* del servidor;

en caso contrario, la aplicación queda a la espera de que se conecte algún dispositivo para manejar el *software*.

Un punto importante es que, para realizar la conexión entre los dispositivos, primero debe estar la tableta esperando la conexión del servidor y, luego, en el servidor ejecutar la conexión con la aplicación informática.

4.9. Conexión con cámaras infrarrojas

Para la simulación virtual y en vivo, se utiliza el concepto de “sesión de entrenamiento”, que es donde se produce la comunicación entre sensores y el escenario. Como debe imaginarse, por parte del lector, para que esta interacción ocurra, el simulador debe contar con sensores, como cámaras infrarrojas, de los cuales se recibe información de la ejecución de los operadores y de la proyección realizada por el sistema, según la configuración establecida.

Establecer los límites de reconocimiento de la imagen y realizar una configuración de homografía permitirá establecer coordenadas de movimiento y disparo del fusil hacia las proyecciones de los blancos. Se recomienda una conexión a través de la librería Emgu Cv de C# para el manejo de las imágenes recibidas desde la cámara infrarroja, ventana en la cual es posible que el usuario realice la calibración antes mencionada, tal como se aprecia en la figura.

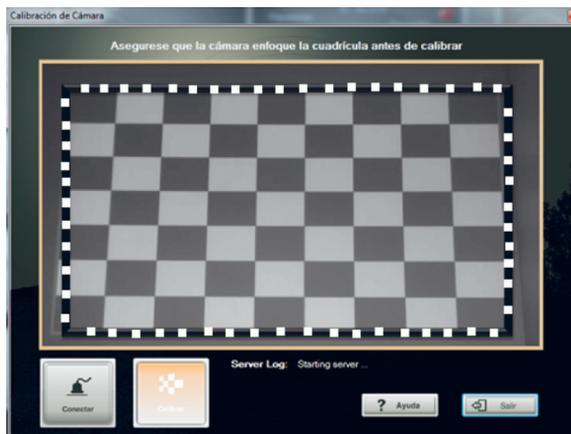


Figura N° 26: “Calibración de cámara”.

Fuente: (CEMSE, 2015).

La calibración se realiza a través del método computacional que toma las esquinas delimitadas por los cuadros de la imagen proyectada. A través de cálculos, se genera un archivo de homografía que será ocupado a lo largo de otras opciones dentro de la aplicación, para el cálculo de coordenadas, según la proyección y las proporciones que esta tenga. Además, se genera una zona rectangular dentro de la cual se realiza la lectura de datos (movimiento del láser, por ejemplo), relacionada a los tamaños de resolución definidos para las proyecciones de los escenarios virtuales.

Para los cálculos anteriores se usa un láser invisible al ojo humano, con el propósito, también, de tener un entrenamiento en condiciones lo más reales posible. El seguimiento del láser se realiza dentro de la zona de lectura definida anteriormente en la calibración de la cámara, teniendo en cuenta que, en el caso de que el láser salga de esta zona o ya no esté apuntando en ella, el último punto (proyectado por el láser) identificado será aquel que sirva como referencia si es necesario realizar algún cálculo u operación.

4.10. Diseño de la base de datos

A grandes rasgos, se puede señalar que en las bases de datos se lleva un registro de las sesiones establecidas por reglamento, registro de usuarios (administrador, operador, operadores), configuraciones de operación y resultados de sesiones ejecutadas. La información para el sistema se almacena en las diferentes tablas:

- Guardar información sobre los tipos de sesiones disponibles para el entrenamiento.
- Guardar información sobre los escenarios disponibles para el entrenamiento.
- Guardar información sobre las configuraciones de operación disponibles.
- Guardar la información de las configuraciones de sesiones establecidas por reglamentos internos del Ejército de Chile, acorde a las necesidades de entrenamiento requeridas para el simulador.

- Almacenar información sobre las distintas unidades militares a las cuales pertenecen los operadores registrados en el sistema.
- Almacenar información sobre los grados militares existentes en el Ejército de Chile, para especificar el rango militar de cada usuario dentro del sistema u otros atributos configurables.
- Guardar información sobre los tipos de usuarios existentes en el sistema, eso quiere decir: operadores, administrador y usuarios.
- Registrar la información general de los usuarios del sistema. En caso de que los usuarios sean operadores o administrador, se guarda también información para el *login* que les permite acceder al sistema.

Los campos correspondientes a cada una de estas tablas aparecen en el esquema relacional de esta base de datos, ejemplificado en la siguiente figura:

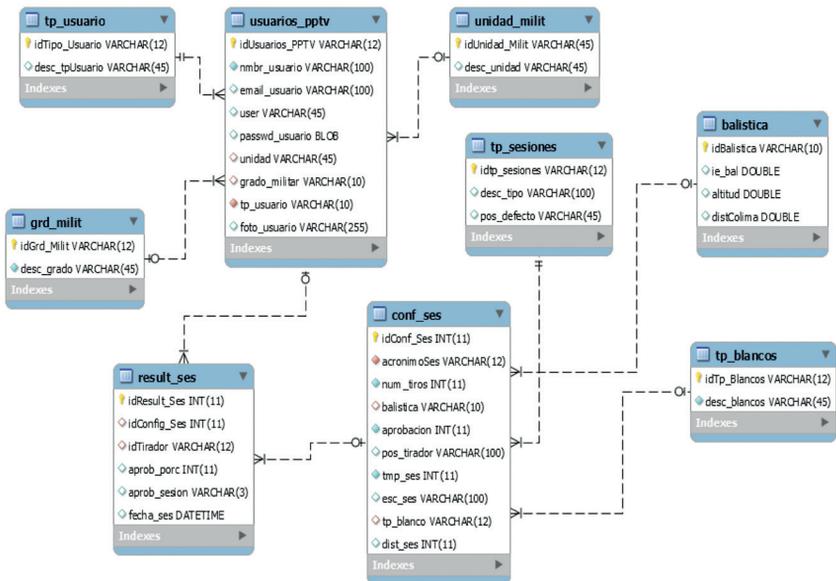


Figura N° 27: “Modelo E-R base de datos”.

Fuente: CEMSE (2018b).

4.11. Diseño de perfiles de usuarios

Se deben analizar los requerimientos en cuanto al funcionamiento y objetivo del sistema a desarrollar, con la finalidad de definir los perfiles de usuarios del sistema, sus accesos y permisos. Comúnmente, se definen 3 perfiles de usuarios, los cuales intervendrán en la simulación. Estos corresponden a:

- **Administrador:** perfil de usuario que tendrá todos los privilegios y permisos del sistema con el fin de que sea el encargado de definir y preparar y compartir todo el material correspondiente al juego de simulación.
- **Director:** perfil de usuario que tendrá la misión de dirigir el juego de simulación y compartir actividades con los usuarios “Jugador” o “Usuario General”.
- **Usuario:** perfil de usuario general que tendrá que realizar las actividades que el Director le encomiende y tendrá acceso a todo el material que sea compartido por el mismo.

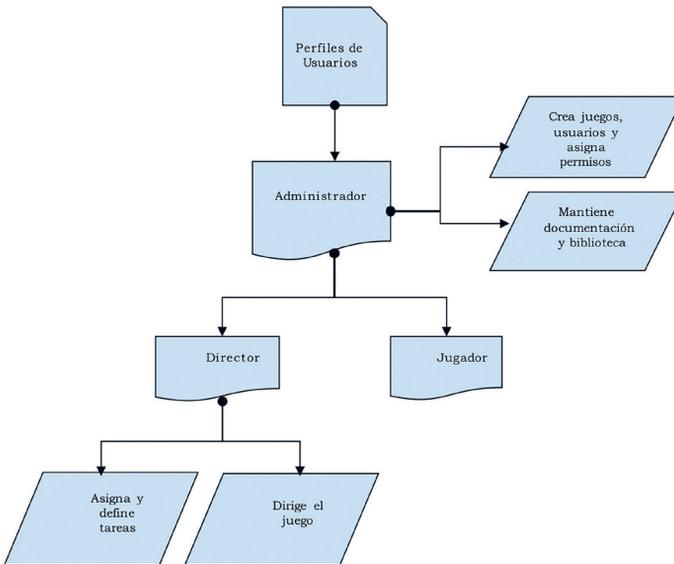


Figura N° 28: “Ejemplo de atributos de usuarios de un sistema de simulación”.

Fuente: elaboración propia.

4.12. Diseño de la interfaz de administración del sistema de simulación

Esta actividad fue resultado de la definición de perfiles de usuario y permite establecer los lineamientos en cuanto a permisos y actividades del administrador.

Se definieron las siguientes actividades:

- Análisis de los requerimientos del proyecto.
- Sesiones de trabajo en dependencias del Centro de Modelación y Simulación del Ejército, con profesionales claves en el manejo de sistemas de simulación.
- Presentación del resultado del flujo de la definición de interfaz de usuario, para la validación y discusión con profesionales del CEMSE.

Se definieron las siguientes actividades o permisos que tendrá a su disposición el administrador en su interfaz:

1. Crear y dar permisos a usuarios.
2. Definir y compartir gráficos.
3. Agregar capas de información vectorial y *raster* en formato estándar.
4. Organizar documentación en formato de uso militar.
5. Mantener biblioteca virtual de documentación, reglamentos y leyes usadas por FF.AA. en emergencias.

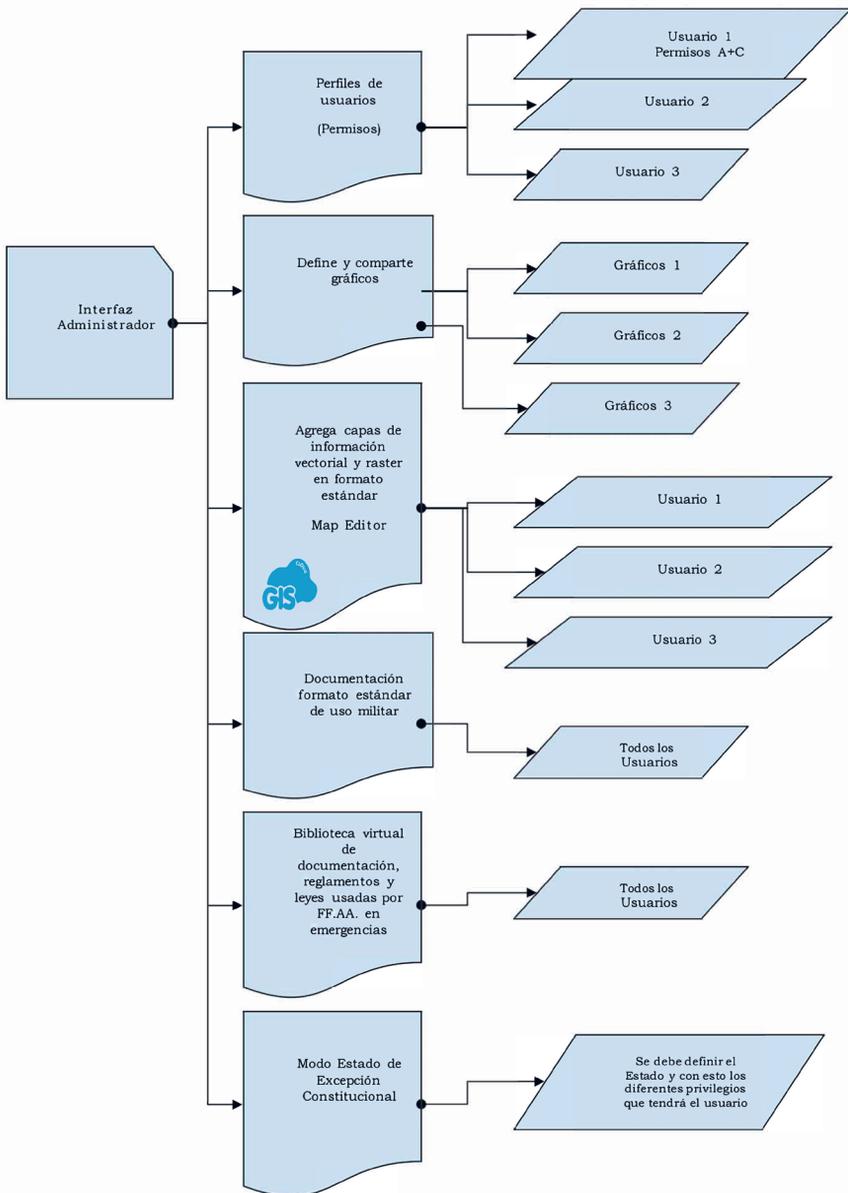


Figura N° 29: “Ejemplo de flujo para la interfaz del administrador”.

Fuente: CEMSE (2018b).

En este modelo se pueden apreciar las relaciones de dependencia entre las distintas tablas. Se observa, por ejemplo, que una sesión se

puede relacionar con varios operadores a través de la tabla “result_ses”, la que guarda la información sobre las sesiones correctamente ejecutadas en entrenamiento.

4.13. Interacción con la base de datos (*back-end*)

Para conectarse a la base de datos en My Sql,¹² se utiliza en back-end una cadena de conexión especificada dentro del archivo de configuración del sistema, donde se definen los parámetros de conexión como el servidor, el usuario de la base de datos y la contraseña usada para acceder al *login*. Dentro del archivo de configuración (App.Config) se define la cadena de conexión que se describe a continuación.

Un ejemplo de la obtención de datos se puede ver en la ventana que revisa el historial de sesiones, donde se busca la información de los operadores registrados en el sistema para autocompletar el área de texto que pide el RUT de operadores al realizar la búsqueda de resultados.

La funcionalidad principal de este método es llamar a un procedimiento almacenado (SP) dentro de la base de datos, llamado *sp_select_usuarios*, que recibe como parámetros un RUT y una variable que indica si se busca un usuario o todos. En este caso, el RUT es nulo y la variable de buscador es verdadera, ya que se requiere información de todos los operadores. Una vez ejecutado el procedimiento en el back-end, se llena la información del área de texto para el RUT con la información de los operadores obtenida y, así, se crea la opción de autocompletar dentro del área de texto.

Para las interacciones entre el sistema y la base de datos, se han incorporado las interfaces de administrador, a través de las cuales los administradores pueden tener un control sobre los usuarios y las sesiones existentes en el sistema. Para poder acceder a este módulo, el usuario debe ingresar con sus credenciales de administrador, tal como se grafica en la figura siguiente:

¹² My Sql es un sistema de administración de base de datos de fuente abierta.

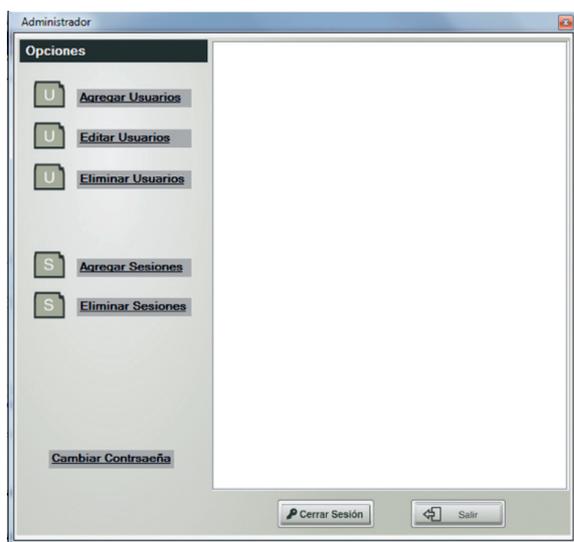


Figura N° 30: “Interfaz de administrador”.

Fuente: CEMSE (2015).

Dentro de las opciones del administrador están:

- Agregar usuarios, de cualquier tipo.
- Editar usuarios.
- Eliminar usuarios.
- Agregar sesiones.
- Eliminar sesiones.

4.14. Diseño de base de datos

Para el desarrollo de la plataforma de simulación de emergencias, se ha decidido utilizar el motor de base de datos Postgres SQL, el cual es un sistema de gestión de bases de datos relacionales orientado a objetos (Özsu, 2009).

Postgres SQL ha tenido una larga evolución desde 1982, fecha en que fue creado. El año 2007, Enterprise DB anunció el Postgres Resource Center y Enterprise DB Postgres, diseñados para ser una distribución de Postgres SQL completamente configurada, incluyendo muchos módulos contribuidos y agregados. Enterprise DB Postgres fue renombrado Postgres Plus en marzo de 2008.

4.14.1. Principales características de Postgres SQL

En primer lugar, el sistema posee alta concurrencia. Mediante un sistema denominado MVCC (por sus siglas en inglés. En español acceso concurrente multiversión), Postgres SQL permite que, mientras un proceso escribe en una tabla, otros accedan a la misma tabla sin necesidad de bloqueos. Cada usuario obtiene una visión consistente.

Seguidamente, presenta una amplia variedad de tipos nativos. Postgres SQL provee nativamente soporte para:

- Números de precisión arbitraria.
- Texto de largo ilimitado.
- Figuras geométricas (con una variedad de funciones asociadas).
- Direcciones IP (IPv4 e IPv6).
- Bloque de direcciones estilo CIDR.
- Direcciones MAC.
- Arrays.

Adicionalmente, los usuarios pueden crear sus propios tipos de datos, los que pueden ser por completo indexables gracias a la infraestructura GiST de Postgres SQL.

4.14.2. Funciones Postgres SQL

Constituyen bloques de código que se ejecutan en el servidor. Pueden ser escritos en varios lenguajes, con la potencia que cada uno de ellos da, desde las operaciones básicas de programación, tales como bifurcaciones y bucles, hasta las complejidades de la programación orientada a objetos o la programación funcional.

4.14.3. Ventaja

- Seguridad en términos generales.
- Integridad en bases de datos (restricciones en el dominio).
- Integridad referencial.
- Afirmaciones (*Assertions*).
- Disparadores (*Triggers*).
- Autorizaciones.
- Transacciones y respaldo.

4.15. Plataforma de entrenamiento

La interfaz de administración permitirá la creación de los ejercicios o entrenamientos de simulación en emergencias. Cuando un administrador cree un ejercicio, se obtendrán los siguientes beneficios:

- Permitirá la creación de jugadores (cuentas de usuarios y *password*).
- Permitirá la creación de los roles, que, finalmente, serán los cargos o puestos dentro de una organización. Es importante destacar que a una cuenta de usuario se le podría asignar más de un rol.
- Permitirá establecer reglas de comunicación entre los roles y de visibilidad de situaciones.
- Permitirá cargar situaciones de conducta, para que los roles se informen sobre los acontecimientos que planificó la dirección.
- Existirá un menú que permitirá adjuntar documentación de consulta para todos los usuarios.
- Existirá un menú que permitirá crear *templates*, para la generación de documentación oficial de uso corriente en el Ejército.
- Poseerá una interfaz de creación de materias y personal. Básicamente, permitirá entregar a los roles un inventario de vehículos o fungibles, los cuales pueden ser traspasados entre roles.
- Se considerará la función de otorgar a los vehículos una capacidad de transporte de personal y una tasa de confiabilidad.
- Existirá una instancia de *GIS Cloud* que permitirá crear el mapa base común y las capas que la dirección requiera, incorporando simbología, líneas, puntos, áreas y *labels*.

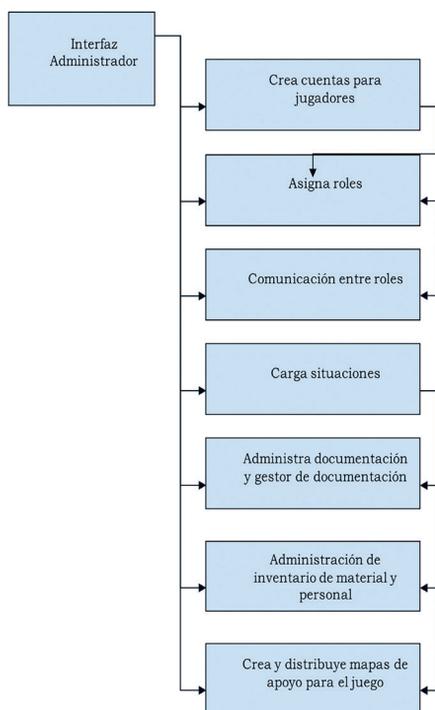


Figura N° 31: “Interfaz del administrador”.

Fuente: CEMSE (2018b).

4.15.1. Interfaz de dirección

Esta interfaz corresponde al director del ejercicio y permitirá que este pueda definir, enviar y compartir información relevante para el desarrollo del ejercicio a los usuarios jugadores. Además, se percibirán los siguientes accesos:

- Tendrá los menús de envío de mensaje, bajo una estructura tipo Outlook, destinatarios CC, asunto, adjunto, entre otros.
- Permitirá manejar la hora de juego (aceleración del reloj).
- Permitirá publicar las situaciones, para que todos los usuarios las vean; esta podría ser un html, mp4, pdf, entre otros.
- Podrá crear capas y publicarlas a todos los usuarios.

- Podrá ver todas las capas creadas por los usuarios, inclusive si estas tienen unidades en movimiento.

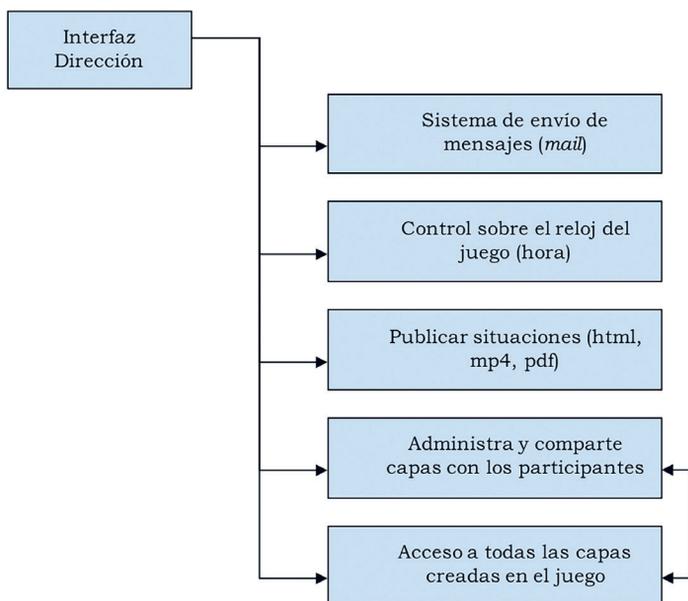


Figura N° 32: “Interfaz de dirección”.

Fuente: CEMSE (2018b).

4.15.2. Interfaz del jugador

En esta interfaz se percibirán los siguientes accesos:

- Tendrá los menús de envío de mensaje, bajo una estructura tipo *Outlook*, destinatarios *CC*, asunto, adjunto, entre otros.
- Tendrá acceso a la biblioteca virtual.
- Podrá enviar documentos, bajo formato militar usando un *template*, el cual se enviará como adjunto en formato pdf.
- Podrá asignar misiones a los vehículos y hacer que estos se desplacen por *Gis Cloud* a una velocidad constante.
- Los vehículos podrán realizar tareas de rescate de personal.

- El jugador podrá crear capas y compartirlas.

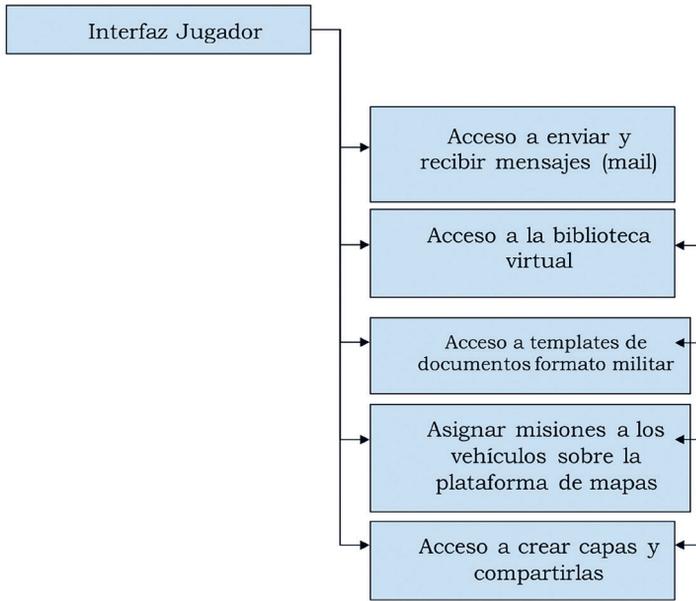


Figura N° 33: “Interfaz del jugador”.

Fuente: CEMSE (2018b).

4.15.3. Interfaz de revisión de procesos postejercicio AAR (*After Action Review*)

Esta interfaz permitirá realizar un análisis de las acciones tomadas por los participantes en el ejercicio y de los resultados de este.

En esta interfaz se podrá acceder a un dashboard que graficará las tareas realizadas por los participantes en el ejercicio. En este mismo entorno se podrá filtrar por:

- Correos enviados durante el ejercicio por usuario y sus roles.
- Mensajes generados por situación.
- Documentos generados durante el ejercicio.
- Asignación de recursos.

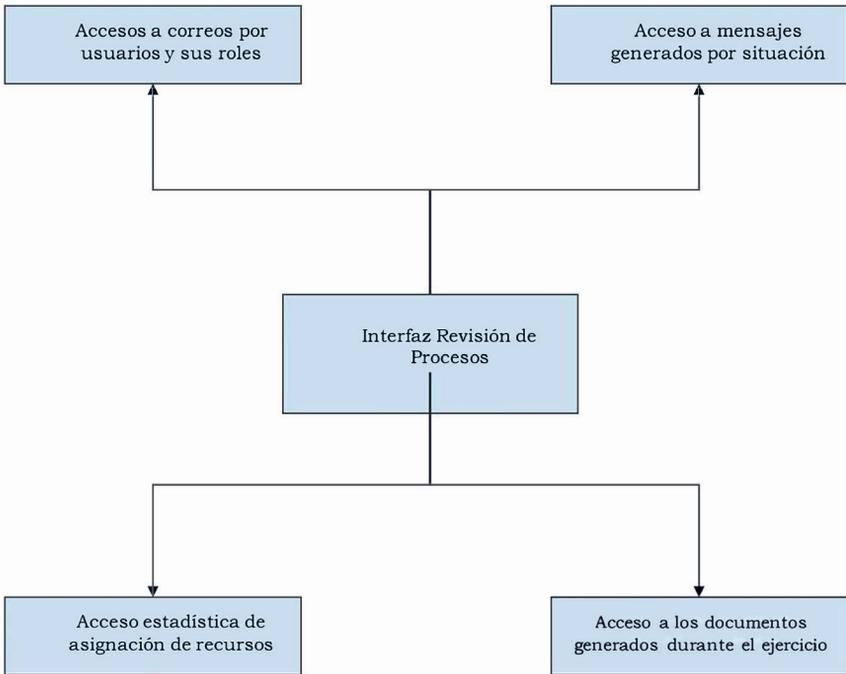


Figura N° 34: “Ejemplo de flujo de información para entrenamiento”.

Fuente: CEMSE (2018b).

4.16. Generación de reportes (resultados de sesión)

Una vez concluida una sesión, es importante mostrar los resultados obtenidos en ella, bajo ciertos criterios de evaluación. Lo más importante es generar una retroalimentación en los operadores acerca de sus actitudes de tiro y control del arma. Para esto, se despliega en los reportes información sobre el número de tiros acertados, tiros fallados, total de tiros realizados correctamente, puntaje obtenido al final de la sesión, áreas de tiro sobre las que se concentran los disparos, porcentaje de aprobación y porcentaje de efectividad. Este primer acercamiento de los reportes finales se puede apreciar en la figura N° 35:



Figura N° 35: – “Resultados de sesión de un simulador de tiro”.

Fuente: CEMSE (2015).

En esta imagen se aprecian los resultados mencionados anteriormente. En este caso, de un total de 30 tiros, como ejemplo, el tirador acertó 8 en el blanco, obteniendo una efectividad del 26%. Por lo tanto, no está aprobada la sesión, ya que se establece que el mínimo de efectividad debe ser de un 80% para ser aprobada. Este porcentaje de aprobación se debe a que el ejemplo es de una sesión configurada manualmente. Por otro lado, se pueden apreciar las marcas de las balas en el blanco, marcadas con un círculo correspondiente a la distancia de tiro, que, en conjunto, con métodos de cálculo mencionados anteriormente, obtiene el puntaje total de esta sesión.

Esta pantalla se repite por cuantos operadores hayan realizado la sesión de tiro, lo que, originalmente, está definido para que sean 1 o 2, dependiendo de la configuración del número de carriles de tiro por

parte del evaluador que maneja el *software* de simulación, a partir de lo cual aparece una pantalla de resultados por cada carril activo.

Como se aprecia en la figura N° 36, dentro de la pantalla de configuración de la sesión de tiro, se encuentra un botón llamado “Ver Resultados”, que es con el cual el evaluador puede observar estos resultados al término de la sesión. El término de la sesión se define por el término de tiros disponibles, término del tiempo dispuesto para la sesión o cuando el evaluador lo estime conveniente para ir revisando las actuaciones de los operadores.



Figura N° 36: Botón “Ver Resultados”.

Fuente: CEMSE (2015).

Dentro de la función de este botón, se llama al método `FinSesionResultados`, que se encarga de generar las ventanas de resultados según cuántos operadores hayan participado en la sesión establecida. El llamado a este método se describe como sigue:

Lo que hace este extracto de código es generar resultados, siempre y cuando, al menos en uno de los carriles, se hayan efectuado tiros dentro de la sesión definida por el evaluador.

Dentro de la clase `ResultadosSesion.cs` se encuentra una secuencia que se ejecuta al cargar la ventana que muestra los resultados, que es donde se hacen los llamados a los métodos que resuelven cómo mostrar estos resultados.

4.16.1. Historial de sesiones de entrenamiento

Otra de las funcionalidades importantes dentro del simulador virtual es generar una retroalimentación para los operadores, a raíz de las experiencias obtenidas dentro del sistema. Esto quiere decir que, sobre la base de la información almacenada, se necesita generar algunos reportes sobre las sesiones realizadas, mostrando criterios de evaluación como lo son la efectividad y la aprobación en cada sesión de entrenamiento realizada.

Para poder revisar el historial de sesiones, en la interfaz del operador, existe una opción, la que se puede apreciar en la figura N° 37.



Figura N° 37: "Revisar el historial de sesiones".

Fuente: CEMSE (2015).

En esta ventana, dentro de la interfaz del operador, se puede realizar una búsqueda de las sesiones de entrenamiento registradas en la base de datos, de forma general, por algún operador involucrado en estas sesiones. De manera similar a lo ejemplificado en el apartado anterior, con el RUT de un operador se crea una llamada a otro servicio, con el objetivo de extraer datos de las sesiones de entrenamiento ejecutadas por el operador especificado. Una vez obtenidos estos resultados, dentro de este método se hace

un llamado a otro que genera el gráfico de efectividad y, con eso, su resultado.

4.16.2. Diseño de usuario

Se debe realizar un análisis del flujo de la definición de perfiles de usuario, con lo cual se diseña el flujo conceptual de la “Interfaz de Usuario”. Se definen las siguientes características para esta interfaz:

- Acceso a las capas de información espacial, gráficos y documentación, de acorde a los permisos otorgados al perfil de usuario.
- Acceso a interfaz gráfica de mapas donde podrá consultar, dibujar y agregar atributos.
- Acceso a la interfaz de comunicación donde podrá acceder a emisión de órdenes bajo estándar militar, envío y recepción de *email*, emisión y envío de tareas, *dashboard* y APP móvil.
- Acceso a herramienta para fijar rutas y animarlas sobre el terreno asignando, en tiempo de desplazamiento real.

4.16.3. Editar usuarios

Existiendo usuarios registrados en el sistema, el administrador tiene la posibilidad de editar los datos de estos usuarios, según sea conveniente, para lo cual cuenta con una ventana de edición, como se muestra en la figura N° 38.

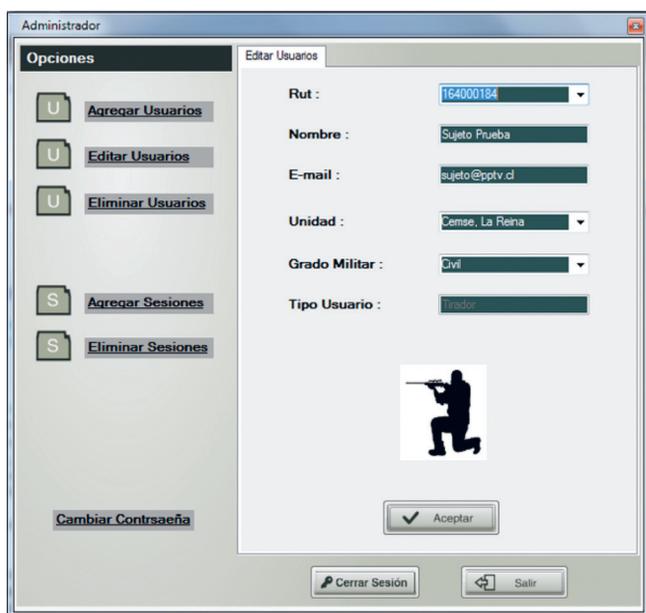


Figura N° 38: "Editar usuarios".

Fuente: CEMSE (2015)

En este formulario, inicialmente, el administrador tiene la opción de seleccionar uno de los usuarios registrados en el sistema en el combobox, con su RUT, tal como se graficó anteriormente. Al seleccionar alguno de los usuarios disponibles para la edición, se llama a la función `comboBox_EditarUser_SelectedIndexChanged()`, dentro de la clase `AdminPPTV.cs`, que busca los datos del usuario seleccionado y los carga en las opciones de edición disponibles, en el formulario de edición, habilitando, también, las opciones disponibles para editar.

De esta forma, una vez cargados los datos de algún usuario, se habilitan entonces las opciones mostradas en el formulario de la figura N° 38, a excepción de la opción tipo de usuario, ya que los operadores y administradores, en primera instancia, están restringidos a sus labores asignadas. Finalmente, a través del botón "Aceptar", se hace un llamado al método `boton_AceptaEdicion_Click()`, dentro de la clase `AdminPPTV.cs`, que se encarga de realizar la actualización de los datos dentro de la base de datos.

4.16.4. Eliminar usuarios

Al igual que en la sección anterior, habiendo datos de usuarios registrados dentro del sistema, es posible que el administrador acceda a eliminar alguno de ellos, según sea requerido. Para esto cuenta con la interfaz dentro de la ventana de administrador.

De forma similar al formulario mostrado en la figura N° 38, el administrador también tiene la opción de seleccionar uno de los usuarios registrados en el sistema, a excepción de sí mismo, ya que no es pertinente que el administrador se autoelimine, porque quedaría inhabilitado para acceder al sistema, lo que sería un problema grave si no existiesen más administradores. El método utilizado para cargar la información del usuario escogido que se desea eliminar es `comboBox_BorrarUser_SelectedIndexChanged()`, que está dentro de la clase `AdminPPTV.cs` y funciona de la misma manera que el método `comboBox_EditarUser_SelectedIndexChanged()`, detallado en la sección anterior.

Una vez seleccionado un usuario a eliminar, se cargan los datos de este, según corresponda, al igual que su fotografía. Con esto se habilita el botón “Eliminar”, el cual, al ser pulsado, pregunta al administrador si está seguro de eliminar al usuario seleccionado, llamando, en caso de aceptar le eliminación, al método `boton_EliminaUser_Click()`, dentro de la clase `AdminPPTV.cs`, que, finalmente, borra los registros de este usuario del sistema.

4.16.5. Agregar sesiones de entrenamiento

Un punto muy importante dentro de la simulación y del sistema está constituido por las sesiones de tiros que se ejecutan por los usuarios operadores. Existen las sesiones precargadas en el sistema, las manuales, que se generan en tiempo real de simulación, y sesiones que el administrador puede agregar a los registros del sistema, basándose en las establecidas por reglamento. Para realizar estos nuevos registros, el administrador cuenta con un formulario para agregar sesiones, mostrado en la figura N° 39.



Figura N° 39: “Ejemplo de interfaz para agregar sesiones de entrenamiento”.

Fuente: CEMSE (2015).

En este formulario, el administrador debe seleccionar, en primera instancia, el tipo de sesión que desea agregar al sistema de simulación (Acrónimo Sesión), con lo cual se cargará el nombre de la sesión seleccionada. Todo esto dentro del marco de las sesiones disponibles bajo el reglamento interno de entrenamiento de tiro. Con toda esta información se puede configurar una nueva sesión con los demás datos que se disponen dentro del formulario, como lo son: el coeficiente balístico, la distancia de tiro, el número de tiros para la sesión, el número de tiros necesarios para la aprobación, el tiempo de la sesión, el tipo de blanco, el escenario y la posición adoptada por los operadores. Finalmente, para agregar esta sesión a los registros, en el botón “Aceptar” se hace un llamado al método `boton_AgregaSesion_Click()`, dentro de la `AdminPPTV.cs`, que se encarga de registrar la nueva sesión de tiro dentro del sistema.

4.16.6. Eliminar sesiones

La última de las opciones disponibles en la interfaz de administrador es la que permite eliminar las sesiones registradas en el sistema. Este formulario es sencillo y se muestra en la figura N° 40.

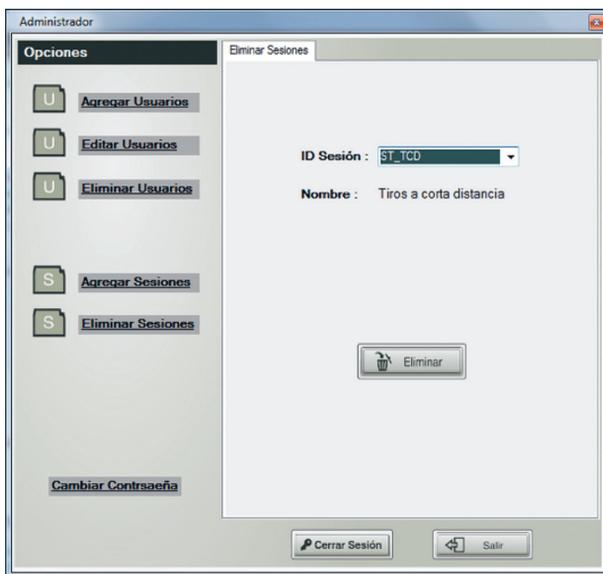


Figura N° 40: “Eliminar sesiones”.

Fuente: CEMSE (2015).

Aquí el administrado solo debe seleccionar la sesión que desea eliminar dentro del cuadro que contiene el ID de las sesiones, con lo cual se cargará información de identificación de esta sesión, a través de un método computacional.

Una vez seleccionada alguna sesión en particular, en el botón “Eliminar” se le pregunta al administrador si está seguro de eliminar esta sesión, para luego, en caso de aceptar la eliminación, hacer un llamado al método `boton_EliminaSesion_Click()` de la clase `AdminPPTV.cs`, que se encarga de borrar los registros de esta sesión del sistema.

4.16.7. Historial o *logbook*

Un punto importante, dentro de la evaluación de los operadores, es poder llevar un registro de las sesiones realizadas a través del tiempo. Esto quiere decir que se debe llevar un historial o *logbook*, cuando sea requerido, sobre las sesiones consideradas en los entrenamientos de cada tirador registrado en el sistema. Para esto, al usuario operador se le ofrece una opción para poder almacenar

los resultados en la base de datos del sistema. Esta opción se habilita una vez generados los resultados por cada tirador que realiza una sesión de entrenamiento.

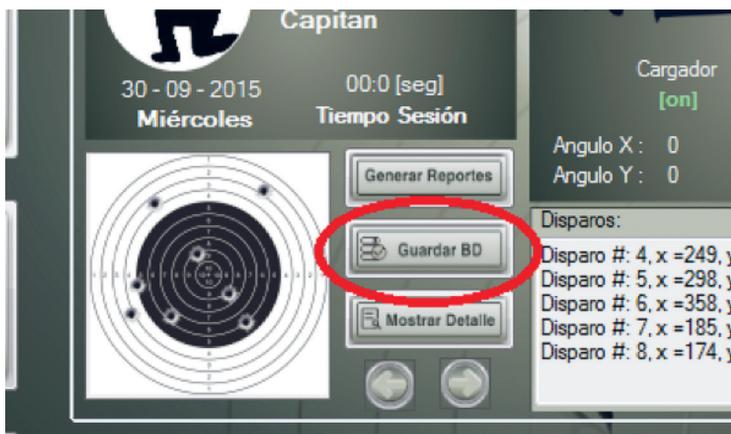


Figura N° 41: “Guardar resultados en base de datos”.

Fuente: CEMSE (2015).

Con esta opción se llama al método que realiza el registro de resultados dentro de la base de datos (BB.DD.), asociando cada resultado a la sesión de entrenamiento.

Dentro de este método se ejecuta una llamada al *Stored Procedure* (SP), que recibe como parámetros los datos relevantes del resultado de la sesión realizada, datos que van a quedar registrados dentro del historial de sesiones en la base de datos. Esta opción de almacenamiento se habilita cada vez que se generen resultados de alguna sesión y cuando estas sesiones sean una de las configuradas anteriormente en el sistema. Las sesiones se deben basar en la doctrina del Ejército de Chile o de la institución que esté creando el simulador.

CAPÍTULO V: ORGANIZACIÓN DE LA SIMULACIÓN MILITAR

El Ejército de Chile se encuentra en la consolidación de un Sistema de Simulación Institucional (SSI), el que está en proceso de integrarse en la cultura organizacional, bajo la responsabilidad general de la División Doctrina, mediante el Centro de Modelación y Simulación del Ejército, con el propósito de formalizar, impulsar y orientar el empleo de la simulación y los simuladores en el Ejército, entendiéndose como SSI al sistema organizacional transversal que reúne un conjunto de organismos, misiones, tareas y normas que regulan las actividades y responsabilidades de la simulación en la Institución (Ejército de Chile, 2017).

5.1. La simulación en el Ejército

La simulación en la Institución y, por consiguiente, los equipos de simulación se encuentran alojados dentro de organismos de entrenamiento, ya sea a través de los centros (CEs) y subcentros de entrenamiento (SCEs) o dentro de unidades de armas combinadas (UAC). Los primeros organismos, que, normalmente y a su vez, se encuentran encuadrados en una escuela o instituto dependiente (ID), son responsables de capacitar y asistir los procesos docentes y de entrenamiento relacionados con su ámbito de acción, y ejecutan sus actividades en todos los ámbitos del Sistema de Educación Institucional (SEI), desarrollando actividades tendientes a reducir la brecha del conocimiento entre los perfiles de egreso y las tareas definidas para el desempeño de un cargo en la Fuerza Terrestre, asistir procesos docentes relacionados con cursos de especialización y/o cursos de complementación y asistir algunos procesos asociados al Sistema de Instrucción y Entrenamiento (SIE), a través de la evaluación formal externa o el desarrollo y/o asesoría para determinar procesos de I/E, acorde con la especificidad.

Los subcentros de entrenamiento, por su parte, son organismos encuadrados en las UACs, responsables de asistir el proceso de I/E de las unidades de armas, servicios o especialidades, pudiendo, eventualmente, desarrollar actividades relacionadas con la capacitación y asistencia a la docencia bajo la supervisión de un ID y/o CE. Estas organizaciones dependen funcionalmente de un ID y/o CE en lo relacionado con la doctrina operacional y contenidos asociados al SIE.

Se suma a lo anterior, el Centro de Modelación y Simulación del Ejército (CEMSE), dependiente de la División Doctrina (DIVDOC). Es el organismo rector de la simulación en la institución y, por lo tanto, es el responsable del correcto empleo de los distintos sistemas de simulación.

5.1.1. Características principales del Sistema de Simulación Institucional (SSI)

Es un sistema de simulación integral acorde con el desarrollo y capacidades de la FT, los avances tecnológicos y las normativas internacionales en el área de la simulación, permitiendo al Ejército alcanzar altos estándares de preparación de su FT, mejorar procesos de planificación e incrementar la investigación y el desarrollo en el área.

Las características principales del sistema son las siguientes:

- Sistema integrado con el Sistema de Centros de Entrenamiento (SICEE), Sistema de Lecciones Aprendidas (SILAE), Sistema Educativo, Sistema de Investigación y Desarrollo del Ejército (SIDE).
- Sistema modular, que es capaz de ser integrado con más funcionalidades.
- Sistema robusto que posee un sistema informático que lo sustenta, en el cual se puede consultar por simuladores, situación de mantenimiento, tendencias de simulación, actuales y futuras capacitaciones de simulación en la institución.
- Sistema administrado por el Centro de Modelación y Simulación del Ejército (CEMSE), un organismo ejecutivo-técnico en

el área de la simulación militar, el cual actúa como autoridad funcional a toda unidad que posea simuladores.

5.1.2. Funciones generales del sistema

a. Dirigir la tecnología de simulación

El SSI debe dirigir la tecnología de la simulación en la institución para uniformar criterios, homologar, aprender, etc.

b. Gestionar la información de simulación

El organismo encargado de gestionar la información de simuladores en el Ejército es el CEMSE, considerando el actual impacto que la simulación tiene en el entrenamiento de la Fuerza Terrestre.

El SSI se desagrega, de manera participativa, colaborativa e integrada, de la siguiente forma:

- Subsistema de Gestión de la Información.
- Subsistema de Empleo de Simuladores.
- Subsistema de Soporte para Simuladores.
- Subsistema de Asesoría para Obtención de Simuladores.

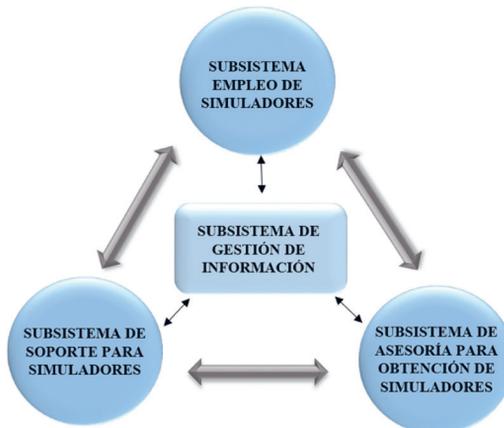


Figura N° 42: “Estructura general y descomposición del Sistema de Simulación Institucional y la integración de sus subsistemas”.

Fuente: Ejército de Chile (2017).

c. Planificar en el empleo de simulación

El sistema debe ser capaz de planificar el uso de la simulación institucional. El organismo encargado de conducir la planificación de empleo de simuladores en el Ejército es la División Educación (DIVEDUC) con apoyo del CEMSE, considerando el actual impacto que la simulación tiene en el entrenamiento de la Fuerza Terrestre.

d. Asesorar en el soporte para simuladores

El sistema debe ser capaz de asesorar en el soporte para simuladores. El organismo encargado de apoyar el soporte a simuladores en el Ejército es la División de Mantenimiento (DIVMAN), con apoyo del CEMSE, considerando la planificación para el mantenimiento de sistemas de simulación existentes y por obtener.

5.2. Asesorar en la obtención de simuladores

El sistema debe ser capaz de asesorar en la obtención de simuladores. El organismo encargado de apoyar a la obtención de simuladores en el Ejército es la División de Adquisiciones del Ejército (DIVAE), con apoyo del CEMSE, considerando el actual impacto administrativo para la adquisición de sistemas de simulación. Además, el CIMI (Centro de Investigaciones Militares) aportará en la obtención de simuladores, con el conocimiento de la propia industria militar, generando un vínculo entre requerimientos de simulación y real desarrollo.

5.3. Misión del Sistema de Simulación Institucional

El SSI tendrá como misión gestionar, promover y difundir la aplicación y uso de la tecnología de simulación en actividades de instrucción, docencia, capacitación, entrenamiento e investigación y desarrollo, por un lado, y en procesos de planificación, soporte y acción en el Ejército, acorde a la realidad nacional y a los estándares internacionales, por otro.

De lo anterior se desprende la necesidad de operacionalizar el SSI, a través del presente libro y, así, aportar a la gestión de la tecnología de simulación en la institución, permitiendo organizar y normar, sobre

la base de misiones y tareas, a los organismos integrantes del sistema, considerando los procesos de empleo, obtención y soporte de simuladores (Ejército de Chile, 2017).

5.4. Tareas fundamentales del SSI

El SSI deberá desempeñar una serie de funciones dentro de su accionar, entre las cuales se identifican las siguientes de carácter fundamental (Ejército de Chile, 2017):

- Dirigir funcionalmente la información de empleo, obtención y soporte de simuladores en la Fuerza Terrestre y Centros de Entrenamiento.
- Asesorar para la obtención, soporte y empleo de los recursos de simulación a requerimientos de la estructura superior del Ejército, la Fuerza Terrestre y el Gobierno.
- Mantener el estado del cargo e información actualizada respecto a la brecha tecnológica de simuladores y simulación en el Ejército.
- Normar y difundir la doctrina de simulación en la institución para protocolizar el empleo y soporte de cada sistema de simulación.
- Optimizar e incentivar el empleo, planificación, la obtención y el soporte de simuladores.
- Promover la investigación y desarrollo tecnológico de la modelación y simulación en el Ejército.

De esta forma, el SSI debe proporcionar a la institución un sistema organizacional de simulación integral acorde con el desarrollo y capacidades de la Fuerza, los avances tecnológicos y las normativas internacionales en el área de la simulación, permitiendo al Ejército alcanzar altos estándares de preparación de su FT, mejorar procesos de planificación e incrementar la investigación y el desarrollo en el área.

5.5. Subsistemas del SSI

Para su funcionamiento, el SSI operará mediante cuatro subsistemas funcionales y un Grupo de Trabajo de Simulación (GTS) concurrente,

que establecerá los desafíos, los recursos disponibles y la proyección en cuanto a simulación institucional, con el fin de asesorar al comandante del CEDOC en esta materia, para que el Comité de Capacidades Militares tenga un modelo de trabajo concurrente, por objetivos y tiempo limitado, más cuatro subsistemas funcionales, conforme a lo siguiente:

- a. El Subsistema de Gestión de Información.
- b. El Subsistema de Empleo de Simuladores.
- c. El Subsistema de Soporte para Simuladores.
- d. El Subsistema de Asesoría para Obtención de Simuladores.

5.6. Subsistema de gestión de la información

Subsistema encargado de administrar la información, el conocimiento, difusión, orientación del uso e investigación de simulación. Tendrá las siguientes funciones:

5.6.1. Función de administrador del Sistema de Simulación Institucional

Este componente debe conducir a los otros tres subsistemas para que sea un núcleo de información sobre simulación a nivel institucional. Este subsistema estará arraigado en el Centro de Modelación y Simulación del Ejército, en la sección simuladores, con el nombre de Oficina de Simulación del Ejército.

5.6.2. Función de gestión de la doctrina

Este componente debe gestionar la doctrina de simulación institucional; debe conocer las lecciones aprendidas en simulación a nivel institucional.

5.6.3. Función de difusión de simulación

Este componente debe mantener relaciones con universidades para dar a conocer la situación de la investigación y desarrollo y tendencias en simulación militar que posee el Ejército.

5.6.4. Función de gestión del conocimiento

Es el componente encargado de acreditar una trazabilidad de la investigación y desarrollo de simuladores en el Ejército.

5.6.5. Función como administrador del comité de simulación

Este componente debe activarse una vez cada dos años para dar a conocer las políticas de simulación por parte del alto mando.

5.6.6. Función como componente de investigación y desarrollo del Ejército en simulación

Este componente es el rector de la investigación en modelación y simulación institucional, para lo cual debe controlar la generación de estudios de investigación y desarrollo en la línea de investigación de modelación y simulación, conectado con el Sistema de Investigación y Desarrollo del Ejército.

5.7. El subsistema de empleo de simuladores

Este subsistema, encargado de gestionar protocolos de entrenamiento, los reportes de evaluación y el uso de simuladores, tendrá las siguientes funciones:

5.7.1. Función de elaboración de reportes

Es el componente de evaluación en simuladores, donde debe distribuir protocolos de instrucción con todos los simuladores del Ejército.

5.7.2. Función de recepción de reportes

Este subsistema debe recibir los reportes de evaluación por parte de los centros de entrenamiento, escuelas y academias que posean simuladores.

5.7.3. Función de planificación y control de entrenamiento con simuladores

Este componente deberá controlar la uniformidad del entrenamiento en simuladores y planificar los períodos de entrenamiento donde los simuladores deben ser utilizados.

5.7.4. Función de acreditación con simuladores

Componente encargado de acreditar el alistamiento operacional alcanzado por simuladores en la Fuerza Terrestre y la mejora continua del entrenamiento en simuladores.

5.7.5. Función de capacitación en simulación

Este componente debe conocer la necesidad de capacitación por parte de la Fuerza Terrestre en simulación y estar en condiciones de proporcionar información conforme a requerimientos.

5.8. Subsistema de soporte para simuladores

Subsistema encargado de planificar el mantenimiento de simuladores en forma anual. Tendrá las siguientes funciones:

5.8.1. Función de levantamiento de la demanda de simulación

Componente encargado de recibir y sistematizar las necesidades de simulación de las unidades.

5.8.2. Función de conocer la brecha técnica de simuladores

Componente del sistema encargado de levantar la brecha tecnológica en el área de simulación en el Ejército.

5.8.3. Función de levantamiento proyectos de simulación

Encargado de conocer los proyectos del Ejército donde esté considerado adquirir simuladores, como sistemas de simulación o como parte de un sistema de arma.

5.8.4. Función de informar la disponibilidad

Este componente debe informar la disponibilidad que exige la Fuerza Terrestre de los simuladores a nivel nacional y la real disponibilidad existente.

5.9. Subsistema de asesoría de obtención de simuladores

Este subsistema, de responsabilidad de la DIVAE, es el encargado de asesorar en la obtención de simuladores. Tendrá las siguientes funciones:

5.9.1. Función de programación de mantenimiento

Encargado de conocer la planificación anual para los simuladores del Ejército. Para esto, la DIVMAN debe poseer una línea de mantenimiento exclusiva en simulación.

5.9.2. Función de administración de cargos

Encargado de conocer la situación de los cargos de simuladores a nivel nacional, conocer bajas, órdenes logísticas y operacionalidad.

5.9.3. Función de conocimiento de la situación de abastecimiento

Encargado de controlar los repuestos, para el abastecimiento de simuladores. Estará enlazado con la División Logística (DIVLOG).

5.9.4. Función de desarrollo de simuladores

Este componente debe conocer la situación en la que está la industria militar, en la línea de la simulación, con el fin de resolver problemas con soluciones internas.

Los líderes militares y civiles involucrados con la defensa se están tomando muy en serio el rol de la inteligencia artificial (IA), que cada vez más podría incluir los "juegos" involucrados en los programas de modelación y simulación utilizados para el entrenamiento militar, también llamados en este libro *serious games*, lo que involucra los software insertos en los simuladores.

Las grandes inversiones en IA por parte de Estados Unidos, China y Rusia han despertado la preocupación de todas las potencias mundiales, ya que estas herramientas determinarían, sin duda, quién gobierna el mundo. El Departamento de Defensa (DoD) de Estados Unidos, específicamente el Ejército, está invirtiendo miles de millones de dólares en IA y apoyando tecnologías, como la computación en la nube y el big data (Carnegie Mellon University, 2019). Mientras que algunos observadores se preguntan si es suficiente, otros dicen que el DoD no debe descuidar la inversión en el desarrollo de tecnologías de modelado y simulación. Sin duda, estas dos tecnologías, combinadas, seguirán liderando el mercado.



Figura N° 44: Firma del convenio entre el Ejército de Estados Unidos y la Universidad de Carnegie Mellon.¹⁴

Fuente: Carnegie Mellon University (2019).

14 La Universidad de Carnegie Mellon, líder en inteligencia artificial y robótica, en conjunto con el Ejército de EE.UU. cerraron un acuerdo para crear una Fuerza Terrestre con inteligencia artificial.

En una reciente conferencia de la Asociación Nacional de Entrenamiento y Simulación en Orlando, Florida, el director de Ciencia de Datos, Modelación y Simulaciones del Comando de Entrenamiento y Doctrina del Ejército de EE.UU., Tomy Cerry, animó a la industria a incorporar la IA en las simulaciones que son fundamentales para el entrenamiento militar moderno. Cerry dijo que tal enfoque diferenciaría a las Fuerzas Armadas estadounidenses de lo que otros países, como China y Rusia, ya que daría al DoD lo que equivale a "una ventaja imbatible", informó la Defensa Nacional (National Defense, 2018). Esta frase demuestra no solo la imbatible necesidad de tecnologizar el Ejército, sino también el tremendo aporte que realiza la investigación de alto nivel a la defensa de un país, a través del desarrollo de conocimiento, de IA y de la simulación, aspectos que le entregan al Ejército y a las otras Fuerzas Armadas, la mejor de las armas: la información.

6.2. *Big Data*

El término "*big data*" fue acuñado hace más de dos décadas en un artículo presentado en la 8ª Conferencia IEEE sobre Visualización en 1997. El concepto describe conjuntos de datos individuales tan grandes que no caben en la memoria principal (Abadicio, 2019). Sin embargo, estos grandes volúmenes de datos, gestionados adecuadamente, poseen muchas aplicaciones beneficiosas para muchas industrias, incluyendo las militares.

No sería posible montar operaciones militares eficaces sin saber cuándo, qué y dónde están desplegados los recursos. El "*big data* militar" y el uso de *big data* para el entrenamiento virtual, por lo tanto, ayudarán a los líderes y comandantes a, finalmente, tomar mejores decisiones. Para lo anterior se debe entrenar, por lo que el Ejército virtual poseerá simuladores de sistemas de mando y control con tecnología de *big data*.



Figura N° 45: big data.

Fuente: Van Rijmenam (2019).

Hoy en día, el teléfono inteligente o *smartphone* más barato posee un *gigabyte* (GB) (1.000 MB) de memoria, por lo que los volúmenes de datos en constante crecimiento no son un problema como antes. Para ponerlo en términos actuales, el volumen de datos mundiales en 2013 fue de 4,4 *zettabytes* (1 *zettabyte* equivale a 44 billones de GB) y esto, probablemente, podría aumentar a 44 *zettabytes* o más para 2020.

Sin embargo, los más avanzados *hardware* informáticos han hecho que la recopilación y el almacenamiento de datos sean relativamente baratos y fáciles. Además, los recientes desarrollos en la tecnología de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje de máquinas o *machine learning* (ML), han provocado que el análisis también se vuelva mucho más manejable.

No obstante lo anterior, la controversia, a menudo, rodea la recopilación de *big data* en el Ejército. Últimamente las plataformas abiertas de ML han sido blanco de críticas por su eventual uso en pro de uno u otro gobierno para inteligencia, la cual se basa, obviamente, en el uso de datos.

6.3. La Internet de las Cosas (IoT)

La IoT posibilita a los ejércitos modernos y conectados con la tecnología transformar sus actuales simuladores en sistemas de entrenamiento inteligentes e interconectados con su entornos, *hardware*, *software*, sistemas de armas y soldados, haciendo posible la interco-

municación en vivo y su respectivo análisis de datos entre sensores que perciben el comportamiento de un alumno a lo largo de su entrenamiento y no solo mediante un evento.



Figura N° 46: Internet de las Cosas para el entrenamiento.

Fuente: Tapestry Solutions (2018).

En el futuro cercano se espera que los nuevos sistemas de armas tengan integrados microsensores que harán posible generar su seguimiento, para su respectivo análisis de comportamiento. Al monitorear su estado, captando datos y enviando esta información a través de redes IP a varias aplicaciones, los objetos físicos tendrán mayor funcionalidad, haciendo que los productos y las partes puedan mejorarse y afinarse en base a su uso real (Wall, 2017).

Se espera que la IoT no solo transforme el entrenamiento individual y colectivo del ejército virtual, sino que también de las brigadas, los destacamentos y las largas organizaciones militares que creamos, desde la transformación de la logística simple para el mantenimiento, la gestión de activos y la conectividad entre máquinas a lo largo de la Institución.

Así es como el ejército virtual se abocará en la guerra centrada en la red, pieza central de la transformación militar basada en sensores, plataformas y redes para la situación del campo de batalla (Tapestry Solutions, 2018).

6.4. Simulación de comunicaciones

Las comunicaciones entre las fuerzas militares son un problema muy complejo y más aún con el acelerado desarrollo de los sistemas organizacionales, informáticos y físicos, la comunicación y las tecnologías emergentes dispersas. La modelación y la simulación, como se ha explicado a lo largo del libro, tienen el potencial de proporcionar herramientas para ayudar a tomar decisiones y lograr resultados de administración de capacidades superiores dentro del contexto de esta complejidad.

Como una fuerza totalmente centrada en la red, se vuelve cada vez más asequible la capacidad de modelar las redes de comunicaciones que facilitan un campo de batalla digitalizado, por lo que se han diseñado distintas herramientas de modelado de comunicaciones, las cuales proporcionan una capacidad de simulación que no solo proporciona capacidades de modelado de alta calidad, sino que también permite una simulación realista y de alta fidelidad de los efectos de las comunicaciones durante los experimentos del combate virtual (CEMSE, 2018b).

A continuación se identifican las ventajas de utilizar la simulación para las comunicaciones militares (CEMSE, 2018b):

- Interfaz de usuario fácil de usar y clara.
- Amplia gama de posibles aplicaciones.
- Soporte para sistemas multiprocesador y computación distribuida.
- Capacidades sofisticadas de animación.
- Amplias posibilidades para analizar el escenario.

CONCLUSIONES

Para realizar una coordinación a gran escala entre el mundo virtual y entornos del mundo real, se requiere que muchas tecnologías complejas se unan individualmente para formar sistemas interconectados e integrados. Cuando se fusionan los mundos virtual y real, las posibilidades son infinitas. En este mundo real, la tecnología no solo es la herramienta más importante para combatir los cambios climáticos, sociales, políticos, sanitarios y educacionales, sino que es la razón principal del desarrollo humano, el objetivo principal de las sociedades, sin excluir los ejércitos ni las organizaciones armadas.

En este libro presentamos una aproximación para introducir al lector en los distintos desafíos que tiene y seguirá teniendo un Ejército en vías de desarrollo, el cual no puede estar ajeno a un mundo completamente tecnologizado, donde la información es más poderosa que las armas y el entrenamiento virtual es la consecuencia de esto.

Además se pretende demostrar que una de las tecnologías militares más importantes para los ejércitos modernos es la modelación y simulación, debido a su alta dualidad de funciones cívico-militar, arma clave para entendernos mejor como organización pública, estatal y de servicio país.

Es clave no solo porque es eficiente sino también porque genera una multiplicación de aprendizaje y una mejora organizacional estructural en todo nivel del entrenamiento, función principal de la institución. Es así como este libro pretende entregar una aproximación a la organización de esta tecnología y las que vengán al corazón de la Fuerza Terrestre: su sistema de educación (instrucción, entrenamiento, capacitación y docencia). En resumen, es la misión principal de los militares en un ejército en paz.

Sabemos que, al estructurar el entrenamiento como una infraestructura multiagente, sistémica, compleja y, a ratos, perturbada, podemos estructurar toda la institución. La tecnología es la manera como se solucionan los problemas modernos. Esta debe insertarse sin pasar por encima de nuestra cultura militar, nuestros valores, nuestro personal y nuestra historia y tradiciones. Este libro se propone lo anterior, como un desafío para la mejora significativa que tendría el Ejército si nos digitalizamos y nos tecnologizamos. Conociendo también que, para esto, se necesita la voluntad de todos y no un esfuerzo de pocos.

Se concluye, además, que se necesita una gran extensión cultural para que esta estructura tecnológica organizacional y las demás trabajen juntas. Los resultados, sin embargo, deberán ser simulados para conocer su impacto antes de ingresarlos al mundo real.

El Ejército, entonces, no puede descartarse dentro del cambio exponencial tecnológico presente en un mundo que está cada vez más interconectado, que está dando lugar a plataformas y ecosistemas digitales. Esto permitirá que las plataformas de entrenamiento sean, en un futuro cercano, parte de un escenario cartográfico global (Wall, 2017).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accortini, H. *et al.* (2016). Modelos y representación. *Revista de epistemología e Historia de la Ciencia*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba. 1(1), pp. 21-34. ISSN: 2525-1198.
- Abadicio, M. (8 de mayo de 2019). Big Data in the Military—Preparing for AI. *Emerj Artificial Intelligence Research*. Recuperado de: <https://emerj.com/ai-sector-overviews/big-data-military/>
- Bartha R. y Meyerb M. (31 de marzo de 2012). Typical Pitfalls of Simulation Modeling - Lessons Learned from Armed Forces and Business. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1. doi:10.18564/jasss.1935
- Carnegie Mellon University. (1 de febrero de 2019). Carnegie Mellon Hosts Activation of U.S. Army AI Task Force. *Carnegie Mellon University*. Recuperado de: <https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2019/february/army-ai-task-force.html>
- Centro de Modelación y Simulación del Ejército. (2014a). *Metodología para apoyar el desarrollo de Capacidades de entrenamiento militar, mediante el empleo de simuladores en diferentes niveles táctico/técnico*. Santiago de Chile: División Doctrina.
- Centro de Modelación y Simulación del Ejército. (2014b). *Estudio de Modelación y Simulación de Capacidades Militares mediante simulación constructiva*. Santiago de Chile: División Doctrina.
- Centro de Modelación y Simulación del Ejército. (2015). *Diseño y desarrollo de un Polígono de Tiro Virtual*. Santiago de Chile: División Doctrina.

Centro de Modelación y Simulación del Ejército. (2018a). *Desarrollo de un módulo de enlace radial a través de redes de comunicación*. Santiago de Chile: División Doctrina.

Centro de Modelación y Simulación del Ejército. (2018b). *Desarrollo de un simulador de entrenamiento en la toma de decisiones en Emergencia*. Santiago de Chile: División Doctrina.

Centro de Modelación y Simulación del Ejército. (2018c). *Estudio para el uso de VR-Forces para la simulación constructiva y virtual*. Santiago de Chile: División Doctrina.

Cohen, P. R. y Levesque, H. J. (1991). Special Issue on Cognitive Science and Artificial Intelligence. *Teamwork. Noïis* 25 (4), pp. 487-512.

Collins Aerospace. (8 de agosto de 2019). Live, Virtual and Constructive (LVC) Blended Test & Training. *Rockwellcollins*. Iowa, Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.rockwellcollins.com/Products-and-Services/Defense/Simulation-and-Training/Live-Virtual-Constructive-blended-test-and-training.aspx>

Crytek. (11 de junio de 2019). CryEngine 3 U.S Military Simulation. *Crytek*. Frankfurt, Aelmania. Recuperado de: <https://www.crytek.com/>

Ejército de Chile. (2017). *Orden Comando de Reestructuración del Sistema de Simulación Militar (SSI)*. Santiago de Chile: Ejército de Chile.

Ejército de Chile. (2018). Entrenamiento virtual para el mundo real. *Revista Armas y Servicios*, abril-mayo, pp. 16-18.

ESim Games. (2019). *Steel Beasts*. Recuperado de: http://id3486.securadata.net/fprado/armorsite/steel_beasts.htm

MeryTalk. (7 de noviembre de 2019). *NSCAI Interim Report Points to Red Flags in Federal AI Policy*. Virginia, Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.meritalk.com/articles/nscai-interim-report-points-to-red-flags-in-federal-ai-policy/>

National Aeronautics and Space Administration. (2016). *Nasa Systems Engineering Handbook, Rev. 2*. SP 6105. Recupera-

do de: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170001761.pdf>.

Özsu, L. L. (2009). *Encyclopedia of Database Systems*. Boston, Estados Unidos: Springer. 4100, p. 60 illus. ISBN 978-0-387-49616-0.

Scerri, P. *et al.* (2007). Synergistic Integration of Agent Technologies for Military Simulation. *IEEE Xplore*. pp. 195-203. 10.1109/KI-MAS.2007.369809.

Pino, R. (2018). *Estudio de modelamiento geomorfológico de áreas de peligro*. Santiago de Chile: División Doctrina.

Ruag Company. (12 de junio de 2019). Live Simulation. *Ruag Group Site*. Berna, Suiza. Recuperado de: <https://www.ruag.com/en/products-services/land/simulation-training>

Russel S., N. P. (2003). *Artificial Intelligence, A Modern Approach*. New Jersey, Estados Unidos: Prentice Hall.

Scalable Network Technologies. (16 de junio de 2019). *Qualnet Network Simulation*. Recuperado de: <https://www.scalable-networks.com/qualnet-network-simulation>

Tadjeh, Y. (3 de enero de 2018). Big Data, AI to Advance Modeling and Simulation. *National Defense Magazine*. Arlington, Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2018/1/3/big-data-ai-to-advance-modeling-and-simulation>

Tapestry Solutions. (10 de julio de 2018). IoT for Military Asset Management (Part II): Tapestry's Sensor Integration Solution, ESI, Changes the Game for Defense Supply Chains. *Tapestry Solutions*. San Diego, Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.tapestry-solutions.com/2018/01/17/iot-military-applications-part-ii-tapestrys-next-gen-solution-esi-changes-game-real-time-asset-management/>

Technavio. (2018). *Global Military Simulation and Virtual Training Market 2018-2022*. SKU: IRTNTR22546. Recuperado de: <https://>

www.technavio.com/report/global-military-simulation-and-virtual-training-market-analysis-share-2018?utm_source=t10&utm_medium=bw_wk37&utm_campaign=businesswire

US Army. (1 de marzo de 2019). *Army Acquisition Support Center (ASC)*. Recuperado de: <https://asc.army.mil/web/portfolio-item/joint-effects-model-jem/>

Vásquez, J. (2018). Diseño y desarrollo de una aplicación informática colaborativa para monitoreo de emergencia. *Ingenieros*, N° 219, pp. 40-41. Santiago de Chile. Recuperado de: <https://images.app.goo.gl/MpXkKP1rdFGLAH5W9>

Velásquez, A. (2005). *Manual Introductorio al Análisis de Redes Sociales*. Chapingo, Mexico: Universidad Autónoma Chapingo. DOI:10.13140/2.1.4053.7927

VT MAK. (1 de octubre de 2019). *Solutions and Successes*. Cambridge, Estados Unidos. Recuperado de: <https://www.mak.com/solutions>

Van Rijmenam, M. (6 de junio de 2019). A Short History of Big Data. *Datafloq*. Recuperado de: <https://datafloq.com/read/big-data-history/239>.

Wall, S. (20 de febrero de 2018). Una fusión que revolucionará el futuro. *Forbes.com*. Recuperado de: <https://www.forbes.com.mx/una-fusion-que-revolucionara-el-futuro/>

El presente ensayo N° 8, *Ejército virtual. Desafíos de tecnología de simulación desde el Ejército de Chile*, editado por el Fondo Editorial de este instituto, fue escrito por el mayor Jorge Vásquez Albornoz.

Producto de múltiples factores, se evidencia que los ejércitos modernos están reduciendo los gastos de personal, los campos de entrenamiento, los recursos logísticos, limitando los alcances de medioambiente, reduciendo las horas de entrenamiento, entre otros aspectos que los han llevado a generar diversas estrategias de modernización, como la simulación militar, que se posiciona como el motor del gran cambio.

El Ejército de Chile no está ajeno a esa transformación tecnológica mundial, por lo que comenzó a sistematizar el uso de la simulación, a planificar su adquisición y a protocolizar el empleo de simuladores de entrenamiento, generar ambientes virtuales, crear modelos para la planificación de operaciones militares y simular el impacto de la adquisición o modernización de los Sistemas de Armas, el personal o la organización de ambos.

En consecuencia, este libro intenta centralizar el conocimiento de la simulación militar que ha adquirido el Ejército de Chile, para lo cual recopila estudios, artículos, libros, experiencias y conocimientos del autor, después de cinco años sirviendo en el Centro de Modelación y Simulación del Ejército (CEMSE), que ahora son plasmados para el lector.

El autor, además, entrega desafíos actuales y futuros, nacionales e internacionales, en esta tecnología militar, demostrando que, a lo largo de todo el mundo, está cambiando la forma de entrenar a los soldados, la forma de comprar capacidades militares y de planificar las operaciones militares de guerra y los tiempos de paz.