

## 3.3

## Entrenamiento Militar en el Continuo de Virtualidad

Por Ing. Santiago Maraggi

Todo entrenamiento, independientemente de la tecnología aplicada, se basa en distinta medida en ensayos realizados en una situación artificialmente generada, que emula un caso de aplicación real de las habilidades a entrenar. Luego, la neurología conductual y la neuropsicología han provisto nuevos marcos de comprensión para los procesos de aprendizaje y entrenamiento, para los que los simuladores brindan experiencias significativas desde sus formas más primitivas. Desde el ámbito de las ciencias de la comunicación se aborda la definición de un “continuo de virtualidad” para caracterizar los entornos en que se desarrolla la acción, que van desde los naturales a los absolutamente sintéticos (“virtuales”), con instancias intermedias de “realidad mixta”. Si bien, sin ser estrictamente una novedad, y tras numerosos éxitos en el mercado masivo de la industria del entretenimiento, se está generando una creciente tendencia de aplicar las tecnologías inmersivas modernas al entrenamiento y capacitación en aplicaciones profesionales, educativas y militares. En el presente artículo se resumen algunas consideraciones clave para el diseño y elaboración de simuladores de entrenamiento inmersivos, cuyo mayor antecedente fueron trabajos de campo realizados en proyectos llevados a cabo con el Grupo de Investigaciones en Ciencias Informáticas (REINVENT) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires y el Environmental Research and Innovation (ERIN) del Instituto de Ciencia y Tecnología de Luxemburgo (LIST), junto a un consorcio de Agencias de Seguridad Europeas <sup>[1][2][3]</sup>.

### Aplicación de Tecnologías Inmersivas al Entrenamiento Crítico

El entrenamiento de agentes críticos de seguridad, personal militar y otros intervinientes en situaciones riesgosas, emergencias y crisis, se ha vuelto más crítico y complejo en el tiempo, en múltiples sentidos. Los costos operativos del entrenamiento se han incrementado, la disponibilidad de recursos estratégicos imprescindibles se ha visto limitada, en particular para grandes despliegues de diversos equipos en grandes áreas, por no mencionar interacciones con actores sociales en áreas urbanas, consideraciones ambientales respecto del impacto de las operaciones, la accidentología, la sensibilidad social extrema respecto de asuntos de seguridad y sanidad pública y la baja tolerancia a fallas son algunos de los factores que han complejizado el entrenamiento especializado en situaciones críticas de seguridad y gestión de riesgos <sup>[4], [5], [6], [7]</sup>.

Las tecnologías de realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA), por otra parte, brindan nuevas posibilidades para la implementación de simuladores de entrenamiento<sup>[8], [9], [10]</sup>, entre otros, en tanto que la disponibilidad de modernas herramientas de desarrollo presenta un escenario inédito en la industria de los simuladores<sup>[11]</sup>.

## Aspectos de diseño para simuladores de entrenamiento

### Ciencias cognitivas

El diseño de experiencias para la capacitación y el entrenamiento debe apoyarse en las bases de la neurología conductual y neuropsicología modernas para su mayor efectividad<sup>[12], [13]</sup>. El aprendizaje, por ejemplo, se encuentra vinculado a la creatividad, y el estrés se considera un factor decisivo para el desempeño bajo presión<sup>[14], [15]</sup>, entre otros. De las técnicas de “práctica mental”, ampliamente utilizadas en el deporte de alto rendimiento, se pueden extraer recomendaciones prácticas<sup>[16], [17], [18]</sup>, entre otros, y el “condicionamiento clásico” provee un marco sólido para entender y construir asociaciones mentales<sup>[19], [20], [21]</sup>.

Para el trabajo efectivo con simuladores como herramientas se deben priorizar los elementos inherentes del proceso de aprendizaje y entrenamiento por sobre aspectos inmersivos no relacionados de la experiencia, aunque todos formen parte del proceso en alguna medida. Otro aspecto importante es la psicología y comunicación en el trabajo con los voluntarios que prueben los sistemas durante el desarrollo y evaluación de las herramientas desarrolladas, mayormente profesionales expertos de quienes se obtendrá retroalimentación.

En general, se hallaron varios conceptos psicológicos clave a tener en cuenta. El primero y más natural es el proceso de automatización de tareas, mensurable en la migración de áreas del cerebro involucradas en la ejecución de tareas aprendidas respecto de la ejecución consciente<sup>[12], [13]</sup>, la detección de los componentes cognitivos y motores de las tareas a aprender o entrenar<sup>[12], [16]</sup>, influencia de los tipos de comunicación entre perfiles de personas a fin de estandarizar las pruebas<sup>[12]</sup>, las funciones ejecutivas y la influencia de la intuición, la confianza y las emociones en el desempeño ejecutivo<sup>[12]</sup>. Resulta fundamental, además, el modelado según la naturaleza y las técnicas de afrontamiento del estrés para su inclusión en experiencias con simuladores<sup>[7], [12], [13], [14], [15], [22], [23]</sup>. La identificación de diversos factores para el alto rendimiento ejecutivo debería ser el fruto de la experiencia de campo<sup>[22]</sup> para ordenar la práctica y la aplicación de técnicas de imágenes mentales<sup>[16], [17], [18], [22]</sup>. Se halló evidencia de que la experiencia en la gestión del estrés es transferible ante diversos y novedosos elementos estresores<sup>[15]</sup>, por lo que la inclusión de elementos estresores resulta crítica, en tanto que se identificaron algunos factores atenuantes de la efectividad de las prácticas como tiempos de entrenamiento, desarrollo de modelos cognitivos y técnicas aplicadas<sup>[7]</sup>. Uno de los primeros marcos conceptuales alrededor de estas temáticas y muy vigente aún es el condicionamiento clásico (“pavloviano”) y su variante instrumental (“thorndikiano”)<sup>[19], [20]</sup>.

### Simuladores de entrenamiento y tecnologías de juegos

Un abordaje estratégico al campo de los simuladores de entrenamiento implica un conocimiento acabado del contexto tecnológico y de aplicación actual, fruto de la interacción de numerosos actores de diversos rubros en el tiempo, entre los cuales el ámbito militar ha sido un histórico impulsor e innovador.

La simulación, como estrategia pedagógica y de entrenamiento, se remonta en la historia humana a tiempos y formas imposibles de determinar con precisión. En aplicaciones modernas, se distinguen tres niveles de aplicación: “estratégico” (liderazgo, tareas cognitivas, largos plazos reso-

lutivos), “táctico” (gestión, tareas cognitivas y consideraciones operativas, plazos resolutivos cortos) y “operativo” (ejecución de tareas, tendientes a lograr resultados inmediatos). El campo estratégico estuvo tradicionalmente implementado a través del planteo de situaciones teóricas<sup>[24]</sup>, el táctico por planteo de escenarios concretos, como por ejemplo juegos de guerra<sup>[25]</sup>, y el operativo por la recreación de situaciones para el ensayo de la ejecución de las operaciones a entrenar.

Para la validación de simuladores de entrenamiento, en los trabajos llevados a cabo, hallamos dos conceptos fundamentales entre la bibliografía especializada: la “validez de constructo”, que se define como la “capacidad de un simulador para evaluar la habilidad técnica de los usuarios”, y la “validez de transferencia” que es la “capacidad de un simulador de generar habilidades trasladables a aplicaciones reales”<sup>[9]</sup>.

En ámbitos castrenses, se entiende por “sistema de simulación” un “artilugio con cierto grado de sofisticación con el objetivo de capacitar a individuos, secciones u organizaciones”<sup>[7]</sup>. A partir de la evolución de los sistemas de simulación para el entrenamiento surgieron soluciones puramente mecánicas, como el subcalibrado de armas, polígonos interactivos, etc. Las principales ventajas de los sistemas de simulación respecto de entrenamiento real son ahorro de costos, conservación de material, impacto ecológico, repetibilidad y variación de situaciones, seguridad operativa y disponibilidad de los medios de entrenamiento, entre otros<sup>[7]</sup>. Respecto del estrés, los simuladores favorecen la confianza de los individuos mediante la mejora de habilidades necesarias para su desempeño. No obstante, el exceso en el uso de simuladores y la falta de entrenamiento operativo real puede causar una adaptación inconsciente en el usuario al simulador, en particular hacia las simplificaciones propias del mismo, que siempre existen, afectando la efectividad de su entrenamiento, en función de lo cual sería recomendable una práctica balanceada entre simuladores y distintas formas de entrenamiento operativo real, según plantea Guglielmone<sup>[7]</sup>.

Los primeros simuladores basados en computadoras presentaron modelos virtuales, en su mayoría numéricos, en los que el usuario podía interactuar principalmente mediante la manipulación de variables por medios primitivos de interacción, que emulaban acciones específicas en un escenario real. Una de las aplicaciones más exitosas de estos simuladores fueron los sistemas de capacitación para seguridad en las centrales nucleares, que presentaban modelos complejos con numerosas variables dinámicas y un conjunto de operaciones que un usuario podía aplicar al sistema<sup>[26]</sup>,<sup>[27]</sup>.

Una etapa más avanzada de simuladores, desde el punto de vista de tecnología inmersiva, fueron los simuladores de vuelo. Su historia se remonta al primer simulador, desarrollado por Edwin Link en 1929, y se encuentra ampliamente desarrollada en numerosos estudios específicos<sup>[28]</sup>. Un avance de interés para diversas aplicaciones surgido de los simuladores de vuelo fueron las plataformas de movimiento, y la configuración propuesta por Stewart en 1965 resultó la más exitosa, que consta de un sistema de actuadores paralelos que permite mover la cabina del simulador con seis grados de libertad, en un rango acotado, con el fin de proveer estímulos creíbles a la propiocepción del usuario, según las aceleraciones lineales y velocidades de giro del vehículo tripulado<sup>[29]</sup>,<sup>[30]</sup>. Esta solución resultó luego extendida para dar soporte al movimiento de cabinas de simuladores de todo tipo. Actualmente, la inclusión de estas plataformas es lo que diferencia “simuladores de vuelo completos” de “entrenadores de vuelo”, según estándares internacionales<sup>[31]</sup>,<sup>[32]</sup>.

Los simuladores de vuelo han liderado la industria no sólo por la aplicación y desarrollo de novedades tecnológicas<sup>[33]</sup>, sino también por la formalización de su uso como herramientas de capacitación, a través de la especificación de estándares internacionales y programas formales de entrenamiento y evaluación<sup>[31]</sup>,<sup>[32]</sup>.

Con la mayor accesibilidad a sistemas gráficos de calidad, también se empezaron a producir simuladores de conducción de vehículos de todo tipo, atendiendo una industria más limitada en términos de recursos por operario respecto de la aeronáutica. El concepto se extendió también para

simuladores de maquinaria pesada (grúas, guinches, etc.), en tanto estos presentan interfaces similares a las de los vehículos, mediante tableros de control (con volantes, botones y palancas).

A partir de este análisis, hemos propuesto una taxonomía para simuladores según su “tipo de control”. Definimos como “Simuladores de Control Instrumental” (SCI) a aquellos en que el usuario interactúa con el entorno simulado a través de instrumentos en tableros de control. En los “Simuladores de Control Corporal” (SCC), el espacio personal del usuario y el movimiento de su cuerpo se ven involucrados en la acción del simulador de forma natural, en tanto que los “Simuladores de Control Autónomo” (SCA) no involucran interacción humana, y se utilizan para validación de modelos teóricos, ensayos y entrenamiento de sistemas de inteligencia artificial, etc.

Los SCC que actualmente tienen mayor campo de aplicación son los simuladores para entrenamiento médico, en tanto que soluciones modernas han permitido el reemplazo de otras puramente mecánicas como maniqués, cadáveres y animales. En particular, esta área lidera también la aplicación de RV y dispositivos hápticos (“táctiles”), que presentan ya probadas ventajas de estas tecnologías respecto de otras soluciones<sup>[9], [10]</sup>. Técnicamente, se diferencia la retroalimentación de fuerza/torque de la retroalimentación táctil, en tanto que la primera está relacionada con sensaciones nerviosas musculares, tendinosas y esqueléticas asociadas a la propiocepción, y la segunda a sensaciones causadas por terminaciones nerviosas ubicadas debajo de la piel, asociadas al frío, al calor y a las diversas texturas perceptibles por el tacto. La mayoría de los dispositivos hápticos en aplicación se refieren a la retroalimentación de fuerza y torque<sup>[10]</sup>.

La RV también comenzó a mostrar resultados positivos en aplicación a simuladores de entrenamiento para personal operativo de plantas industriales<sup>[4]</sup>, que implementan combinadas interacciones artificiales del sistema con acciones propias de actividades específicas en entornos virtuales. La aplicación de los simuladores a la educación es difícil de distinguir de la aplicación de los videojuegos a este mismo fin. Desde los primeros juegos educativos, como el “Logo Programming” o “The Oregon Trail”, estas prácticas están aún lejos de alcanzar un nivel de estandarización como, por ejemplo, el de los simuladores de vuelo, mientras que numerosos estudios han reportado diversos resultados y factores que atenúan su efectividad. El término “juegos serios” refiere al uso de videojuegos con fines serios, distintos al entretenimiento, en tanto que “Game Based Learning” (GBL) refiere al “uso de tecnología basada en juegos para ofrecer, apoyar y mejorar la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación”, de lo que resulta que la inclusión de videojuegos en el proceso de enseñanza tiene implicancias cognitivas, afectivas y conductuales<sup>[34]</sup>. Otros estudios han encontrado una correlación en médicos cirujanos entre habilidad en los videojuegos y habilidades quirúrgicas laparoscópicas, con lo que se concluye que los videojuegos podrían ser una herramienta de capacitación para estas operaciones<sup>[35]</sup>. Otros estudios se han enfocado en el desarrollo de habilidades motoras en niños mediante videojuegos<sup>[36], [37]</sup>.

La “ludificación” (gamification) es definida como un “término general para el uso de elementos de videojuegos (en lugar de juegos completos) para mejorar la experiencia del usuario y su participación y compromiso en servicios y aplicaciones que no son un juego”, apelando a la psicología emocional de los videojuegos y a la “tecnología persuasiva”<sup>[38]</sup>. Diversos estudios dan cuenta de los resultados positivos obtenidos con técnicas de ludificación, así como también de algunos riesgos e implicancias de su utilización<sup>[39], [40]</sup>.

Zyda<sup>[41]</sup>, estableció que “la aplicación de tecnologías de juegos y simulaciones a dominios que no son de entretenimiento, resulta en juegos serios”. El término fue extendido para referirse también al aprendizaje mejorado por computadora<sup>[42]</sup>, y se volvió objeto de estudio formal<sup>[34], [43]</sup>. Las áreas más involucradas en juegos serios son militares, gubernamentales, educativas, corporativas y de atención médica, entre otros, y los actores más típicos involucrados son investigadores, desarrolladores de juegos y consumidores en sus roles para el desarrollo del mercado, además de ser los usu-

rios finales<sup>[42]</sup>. Los deportes electrónicos (eSports) completan el panorama, e integran una industria del entretenimiento masiva que moviliza mundialmente más recursos que, por ejemplo, el cine, e involucra audiencias que superan a las de los deportes tradicionales<sup>[44]</sup>.

En los trabajos referidos diferenciamos dos paradigmas para el despliegue e instalación de simuladores: el modelo centralista y el modelo distribuido. El primero es el propio de simuladores complejos, que requieren instalaciones especiales y tienden a instalarse en centros de simulación, como podrían ser simuladores de vuelo completos certificados. El paradigma distribuido apunta al uso de plataformas en la nube para la distribución de contenido de capacitación y entrenamiento que sea pasible de utilizar con hardware relativamente estándar de mercado, como, por ejemplo, a través de dispositivos móviles Android o iOS, visores de RV como Oculus Quest, o de RA como Microsoft HoloLens.

La adopción de tecnologías de videojuegos por parte de diversas industrias ya es una tendencia generalmente aceptada, en particular en ámbitos de la Defensa<sup>[41], [7]</sup>. Por otra parte, la adaptación de videojuegos para su uso en simuladores dio lugar al término “simuladores ligeros”, en tanto estos no desarrollan su infraestructura tecnológica sino que explotan capacidades de modding de videojuegos lanzados al mercado<sup>[5]</sup>, mientras que otros enfoques abordan el desarrollo de simuladores a partir de frameworks profesionales provistos por la industria formal<sup>[45]</sup>, y otros directamente abordan el desarrollo a partir de “motores de juegos”, que son las herramientas profesionales más comunes en la industria de los videojuegos. Estos están siendo asimilados también por la industria del cine, mercadotecnia, arquitectura, varias especialidades de ingeniería, entre otras.

Paul et. al. definen “motor de juegos” como una “plataforma para realizar tareas comunes relacionadas con los juegos, como renderizado, cálculos relacionados con la física y entrada de datos, para que los desarrolladores puedan centrarse en los detalles que hacen que su juego sea único”<sup>[46]</sup>. Los motores de juegos pueden caracterizarse por la licencia de producto, funcionalidades, periféricos, lenguajes y plataformas soportados, rendimiento, etc. La comunidad de desarrolladores es también un valor agregado importante, ya que los motores de juegos presentan un “efecto de red”, que tiende a favorecer a los que logran una ventaja inicial ante iguales condiciones (“éxito para los que tienen éxito”)<sup>[47]</sup>. Los motores de juegos presentan estructuras tendientes a organizar los proyectos y se pueden hallar en su implementación los patrones de diseño de la programación clásica orientada a objetos<sup>[48], [49]</sup>. Los motores de juegos, de alguna manera, son una gran implementación del patrón “método plantilla”, tal como lo definió la “Gang of Four”<sup>[48]</sup>.

Diversos motores de juegos ofrecen productos maduros en el mercado para dar soporte a simuladores de todo tipo. Entre ellos, el motor de juegos Unity lidera ampliamente el mercado de desarrollos independientes, de pequeña a mediana escala, así como también por gran ventaja el mercado de aplicaciones de RV y RA<sup>[50], [51]</sup>, entre otros.

## Realidad virtual y realidad aumentada

La inmersión es un fenómeno mental, mayormente deseable a los fines de diversas expresiones artísticas, como la narración y la pintura. Relacionada con la concentración, y a veces también con la imaginación, la inmersión se basa en actividades cognitivas complejas que crean sentido y coherencia a partir de interacciones con factores externos relacionados.

Algunos trabajos estudian la historia de la RV a partir de los primeros estudios de la visión estereoscópica de Wheatstone y Brewster de primera mitad del siglo XIX<sup>[52], [53], [8]</sup>. Mazurik diferencia la RV “de escritorio” (PC convencional), “de pecera”, basada en sistemas CAVE<sup>[51]</sup>, e “inmersiva”, basada en cascos (Head Mounted Display, HMD)<sup>[8]</sup>. En nuestro caso, tomamos la definición de Steuer de RV: “entorno real o simulado en el que un perceptor experimenta telepresencia”, basado en la “telepresencia” (experiencia de presencia en un entorno a través de un medio de comunicación) y en la

“presencia” (sensación de estar en un ambiente)<sup>[55]</sup>. Otros conceptos importantes son la “vivacidad” (riqueza del ambiente), “interactividad” (posibilidades de interacción), “amplitud sensorial” (cantidad de sentidos involucrados) y “profundidad sensorial” (resolución de cada nivel perceptivo)<sup>[55]</sup>. A su vez, Morton Heilig, creador de Sensorama, un dispositivo de “cine” multisensorial, atribuyó a cada sentido perceptivo humano una participación en la experiencia total de presencia: vista 70 por ciento, audición 20 por ciento, olfato 5 por ciento, tacto 4 por ciento y gusto 1 por ciento<sup>[8]</sup>.

Cruz-Neira et. al. introdujeron el concepto de CAVE, un arreglo inmersivo de pantallas envolventes con seguimiento de posición de la cabeza del usuario y gafas con obturación alternada sincronizada con las pantallas, a la vez que presentaron una detallada caracterización de los sistemas de visualización para RV<sup>[55]</sup>. Otras soluciones intermedias buscan extender la inmersión más allá de las pantallas renderizables a través de luces estroboscópicas y leds<sup>[56]</sup>,<sup>[57]</sup>, entre otros.

El mareo por movimiento en RV ha sido ampliamente estudiado y, en determinadas situaciones, puede imponer restricciones de diseño a las experiencias o favorecer soluciones de compromiso, sobre todo relacionadas con la navegación<sup>[8]</sup>.

Las tres ilusiones de la RV<sup>[58]</sup> propuestas por Mel Slater son: “ilusión de lugar” (fenómeno perceptivo), “ilusión de plausibilidad” (fenómeno cognitivo) e “ilusión de encarnación” (fenómeno perceptivo y cognitivo relacionado con la apropiación del cuerpo virtual), vinculada esta última al paradigma de la “ilusión de la mano de goma”<sup>[59]</sup>. Estas tres ilusiones son un buen marco de evaluación para experiencias de RV.

Para la medición más objetiva de “presencia” en una RV se toman comúnmente los cuestionarios de presencia (PQ) y de tendencias inmersivas (ITQ)<sup>[60]</sup>, con las consideraciones propuestas por Schwind, de evitar eventos de “interrupción de inmersión” (BIP)<sup>[61]</sup>. La “presencia” en RV continúa siendo investigada a fin de explotar el potencial de esta tecnología en aplicaciones “sociales”, a través de la interacción entre personas mediante avatares expresivos<sup>[62]</sup>,<sup>[63]</sup> (RV social).

La RA, por otra parte, se remonta en su historia a la “ilusión del fantasma de Pepper”, del siglo XIX, que es una técnica aún hoy utilizada para superponer “fantasmas” en videos sin edición digital de imágenes, a partir de superficies semi translúcidas. Militarmente se aplicó esta tecnología a miras holográficas y de aviones de combate, entre los que resultan paradigmáticos los Head-Up Displays (HUD). La RA se relaciona con la superposición de imágenes<sup>[8]</sup>, aunque en nuestros trabajos hemos preferido considerarla a partir de una extensión de los conceptos de Steuer de la RV, que abstrae el concepto de la implementación tecnológica, y se entiende finalmente la RA de forma abarcativa como el enriquecimiento de la realidad a través de la presentación de información útil, oportuna e interactiva por diversos medios.

A los dispositivos de RA previamente mencionados, se agregó la novedad de los HMD basados en hologramas con seguimiento de posición y orientación. Aún sin llegar al mercado masivo, se destaca el dispositivo Microsoft Hololens, una variante del cual el Ejército de Estados Unidos ha comprado en 120.000 unidades a Microsoft por 22 mil millones de dólares estadounidenses. Por otro lado, los dispositivos móviles también presentan numerosas aplicaciones basadas en RA no inmersiva.

El “continuo de virtualidad” presenta una visión integradora respecto de los extremos de RV y RA, pasando por un intermedio variable de Realidad Mixta (RM), que puede basarse en la virtualización de entornos y objetos reales o en la interactividad espacial con elementos virtuales<sup>[64]</sup>.

La RA en HMD presenta potencial para su combinación con un enfoque de “Internet de las Cosas” (Internet of Things, IoT)<sup>[65]</sup>, a fin de presentar hologramas al usuario y combinarlos con objetos reales interactivos en una experiencia integrada.

Aplicaciones de RV a simuladores de entrenamiento se pueden encontrar ampliamente en diversos ámbitos<sup>[4]</sup>,<sup>[5]</sup>,<sup>[9]</sup>, entre otros. No obstante, previo a la realización de los trabajos referidos, no se tuvo conocimiento de la aplicación de RA inmersiva a simuladores de entrenamiento, sien-

do las aplicaciones actuales más comunes y en estudio de RA videojuegos georreferenciados<sup>1661</sup>, turismo<sup>1671</sup>, diseño colaborativo de productos<sup>1681</sup> y militarmente la presentación interactiva de información<sup>1691,1701,1711</sup>, por lo que nuestro trabajo mencionado aportó cierta novedad al campo en este sentido. El mayor potencial de la RA respecto del entrenamiento, no obstante, parece estar relacionado con el hecho de que esta tecnología está concebida para su aplicación y despliegue en casos reales, por lo que naturalmente deberá ser luego incorporada en igual medida en los entrenamientos y alimentada con situaciones y datos acordes.

## Bibliografía y Referencias

1. Maraggi, S.: Realidad Virtual y Realidad Aumentada: Aplicación al Entrenamiento en Escenarios de Alto Riesgo. 49° JAIIO, <https://49jaiio.sadio.org.ar/pdfs/est/EST-03.pdf>
2. Proyecto TARGET (Training Augmented Reality Generalised Environment Toolkit). Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), financiado por el programa Horizon 2020 de la Unión Europea. <https://www.list.lu/en/research/project/target/> (visited 26/03/2020).
3. Huynen, J.L., McCall, R., y Griffin, M.: Towards design recommendations for training of security critical agents in mixed reality environments. Proceedings of the 32nd International BCS Human Computer Interaction Conference, BCS Learning & Development Ltd., 2018, pág. 84.
4. Patle, D.S., Manca, S., Nazir, S., Sharma, S.: Operator training simulators in virtual reality environment for process operators: a review. *Virtual Reality*, págs. 1-19, 2018.
5. Backlund, P., Engström, H., Gustavsson, M., Johannesson, M., Lebram, M., Sjörs, E.: SIDH: a game-based architecture for a training simulator. *International Journal of Computer Games Technology*, vol. 2009, 2009.
6. Raheb, R.: Driver Training Simulators: Strategies and Tactics. *Fire Engineering*, vol. 165, n.o 8, 2012.
7. Guglielmone, J.: Los sistemas de simulación: otra forma de entrenar para el combate. *TEC1000 - Estudios de Vigilancia y Prospectiva Tecnológica en el área de Defensa y Seguridad*. 2016.
8. Mazuryk, T., Gervautz, M.: Virtual reality-history, applications, technology and future. Institute of Computer Graphics, Vienna University of Technology, Austria, 1996.
9. Vaughan N., Dubey, V.N., Wainwright, T.W., Middleton, R.G.: A review of virtual reality based training simulators for orthopedic surgery. *Medical engineering & physics*, vol. 38, n.o 2, págs. 59-71, 2016.
10. Coles, T.R., Meglan, D., John, N.W., The role of haptics in medical training simulators: A survey of the state of the art. *IEEE Transactions on haptics*, vol. 4, n.o 1, págs. 51-66, 2011.
11. Smith, R.D.: Five forces driving game technology adoption. Proceedings of the Interservice/ Industry Training, Simulation, and Education Conference (I/ITSEC), Citeseer, 2008.
12. Cumpa, J.G.: Neurociencia cognitiva y educación. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Escuela de Postgrado. Facultad de Ciencias Histórico Sociales y Educación. Maestra en Ciencias de la Educación Fondo Editorial FACHSE. Serie: Materiales del Postgrado, 2004.
13. Tirapu-Ustárroz, J., Luna-Lario, P.: Neuropsicología de las funciones ejecutivas. *Manual de neuropsicología*, vol. 2, págs. 219-59, 2008.
14. Salas, E., Driskell, J.E., Hughes, S.: The study of stress and human performance. *Stress and human performance* (A 97-27090 06-53), Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, 1996., págs. 1-45, 1996.
15. Driskell, J.E., Johnston, J.H., Salas, E.: Does stress training generalize to novel settings?. *Human factors*, vol. 43, n.o 1, págs. 99-110, 2001.
16. Feltz, D.L., Landers, D.M.: The effects of mental practice on motor skill learning and performance: A meta-analysis. *Journal of sport psychology*, vol. 5, n.o 1, págs. 25-57, 1983.

17. Driskell, J.E., Copper, C., Moran, A.: Does mental practice enhance performance? *Journal of applied psychology*, vol. 79, n.o 4, pag. 481, 1994.
18. Jackson, P.L., Lafleur, M.F., Maloiun, F., Richards, C., Doyon, J.: Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, vol. 82, n.o 8, pags. 1133-1141, 2001.
19. Pavlov, I.P., Thompson, W.H.: *The work of the digestive glands*. Charles Grin, 1902.
20. Bitterman, M.: Classical conditioning since Pavlov. *Review of General Psychology*, vol. 10, n.o 4, pags. 365-376, 2006.
21. Thorndike, E.L.: *Human Learning*, 1931
22. Ruiz, G.: *La cabeza del campeón - Cómo construir una mentalidad ganadora para la vida*. 2017.
23. Violanti, J.M.: Coping strategies among police recruits in a high-stress training environment. *The Journal of Social Psychology*, vol. 132, n.o 6, págs. 717-729, 1992.
24. Tzu, S.: *El Arte de la Guerra*. Editorial Andrómeda, 2010.
25. Von Hilgers, P.: *War games: a history of war on paper*. MIT Press, 2012.
26. Neuman, P.: Power Plant and Boiler Models for Operator Training Simulators. *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 44, n.o 1, págs. 8259-8264, 2011.
27. Neuman, P.: Power Plant and Turbogenerator models for Engineering and Training Simulators. *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, n.o 21, págs. 313-318, 2012.
28. Page, R.L.: Brief history of flight simulation. *SimTecT 2000 Proceedings*, págs. 11-17, 2000.
29. Berger, D.R., Schulte-Pelkum, J., Bühlhoff, H.H.: Simulating believable forward accelerations on a Stewart motion platform. *ACM Transactions on Applied Perception (TAP)*, vol. 7, n.o 1, pag. 5, 2010.
30. Maraggi, S., Abbate, H.: Framework de control de movimiento de plataforma de seis grados de libertad de tipo Stewart, servicios de movimiento para vehículos en aplicaciones de simulación e integración con simuladores de vuelo. XIX Simposio Argentino de Ingeniería de Software (ASSE)-JAIIO 47, 2018.
31. U. S. D. o. T. Federal Aviation Administration: 14 CFR Part 60. NSP Consolidated Version, dirección: [https://www.faa.gov/about/initiatives/nsp/media/14CFR60\\_Searchable\\_Version.pdf](https://www.faa.gov/about/initiatives/nsp/media/14CFR60_Searchable_Version.pdf) (consultado el 18 de marzo de 2019).
32. E. A. S. Agency: Certification Specifications for Aeroplane Flight Simulation Training Devices CS-FSTD(A) / Initial issue, dirección: [https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-FSTD\(A\)%20Initial%20Issue.pdf](https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/CS-FSTD(A)%20Initial%20Issue.pdf) (consultado el 18 de marzo de 2019).
33. Woodling, C., Faber, S., Vanbockel, J.J. Olasky, C.C., Williams, W.K., Mire, J.L., Homer, J.R.: Apollo experience report: Simulation of manned space flight for crew training.
34. Vlachopoulos, D., Makri, A.: The effect of games and simulations on higher education: a systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 14, n.o 1, pag. 22, 2017.
35. Rosser, J.C., Lynch, P.J., Cuddihy, L., Gentile, D.A., Klonsky, J., Merrell, R.: The impact of video games on training surgeons in the 21st century. *Archives of surgery*, vol. 142, n.o 2, págs. 181-186, 2007.
36. McGlashan, H.L., Blanchard, C.C., Sycamore, N.J., Lee, R., French, B., Holmes, N.P.: Improvement in children's fine motor skills following a computerized typing intervention. *Human movement science*, vol. 56, págs. 29-36, 2017.
37. Chwirka, B., Gurney, B., Burtner, P.A.: Keyboarding and visual-motor skills in elementary students: A pilot study. *Occupational Therapy in Health Care*, vol. 16, n.o 2-3, págs. 39-51, 2002.
38. Deterding, S., Sicart, M., Nacke, L., O'Hara, K., Dixon, D.: Gamification. Using game-design elements in non-gaming contexts. CHI'11 extended abstracts on human factors in computing systems, ACM, 2011, págs. 2425-2428.

39. Hamari, J., Koivisto, J., Sarsa, H.: Does gamification work? - a literature review of empirical studies on gamification. 2014 47th Hawaii international conference on system sciences (HICSS), IEEE, 2014, págs. 3025-3034.
40. Huotari, K., Hamari, J.: Dening gamication: a service marketing perspective. Proceeding of the 16th international academic MindTrek conference, ACM, 2012, págs. 17-22.
41. Zyda, M.: From visual simulation to virtual reality to games. Computer, vol. 38, n.o 9, págs. 25-32, 2005.
42. Susi, T., Johannesson, M., Backlund, P.: Serious games: An overview. 2007.
43. Woodrow Wilson Center: Serious Gaming Initiative Homepage, dirección: <https://www.wilsoncenter.org/program/serious-games-initiative/> (consultado el 22 de marzo de 2019).
44. Electronic Sports Earnings: Top Games Awarding Prize Money HomePage, dirección: <https://www.esportsearnings.com/games> (consultado el 27 de marzo de 2019).
45. AEgis: 2010 Top Simulation and Training Companies. Military Training Technology Journal, published by KMI Media Group, PDFs, dirección: <https://aegistg.com/PDFs/Top%20Simulation%20&%20Training%20Companies%202010.pdf> (consultado el 24 de marzo de 2019).
46. Paul, P.S., Goon, S., Bhattacharya, A.: History and comparative study of modern game engines. International Journal of Advanced Computed and Mathematical Sciences, vol. 3, n.o 2, págs. 245-249, 2012.
47. Senge, P.: The fifth discipline fieldbook: Strategies and tools for building a learning organization. Crown Business, 2014.
48. Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides, J.: Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. 1994.
49. Qu, J., Song, Y., Wei, Y.: Applying design patterns in game programming. Proceedings of the International Conference on Software Engineering Research and Practice (SERP), The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer, 2013, pág. 1.
50. Cowan, B., Kapralos, B.: A survey of frameworks and game engines for serious game development. 2014 IEEE 14th International Conference on Advanced Learning Technologies, IEEE, 2014, págs. 662-664.
51. Haas, J.K.: A history of the Unity game engine. Faculty of Worcester Polytechnic Institute, 2014.
52. Virtual Reality Society: Virtual Reality History HomePage, dirección: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html> (consultado el 27 de marzo de 2019).
53. Virtual Speech: History of VR blog, dirección: <https://virtuallspeech.com/blog/history-of-vr> (consultado el 28 de marzo de 2019).
54. Cruz-Neira, C., Sandin, D.J., DeFanti, T.A., Keynon, V., Hart, J.C.: The CAVE: audio visual experience automatic virtual environment. Communications of the ACM, vol. 35, n.o 6, págs. 64-73, 1992.
55. Steuer, J.: Dening Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. Communication in the age of virtual reality, Oxford: Routledge, 1993, cap. 3, págs. 33-56.
56. Hwang, A.D., Peli, E., Development of a headlight glare simulator for a driving simulator. Transportation research part C: emerging technologies, vol. 32, págs. 129-143, 2013.
57. Haycock, B., Campos, J., Koenraad, N., Potter, M., Advani, S.: Creating headlight glare in a driving simulator. Transportation research part F: trac psychology and behaviour, 2017.
58. Slater, M.: Place illusion and plausibility illusion can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. Philosophical Transactions of The Royal Society, 2009.
59. Botvinick, M., Cohe, J.: Rubber hands “feel” touch that eyes see. Nature, vol. 391, n.o 6669, pág. 756, 1998.
60. Witmer, B.G., Singer, M.J.: Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. Presence, vol. 7, n.o 3, págs. 225-240, 1998.

61. Schwind, V., Knierin, P., Haas, N. Henze, N.: Using Presence Questionnaires in Virtual Reality. 2019.
62. Ruhland, K., Andrist, S., Badler, J., Peters, C., Badler, N., Gleicher, M., Mutlu, B., McDonnell, R.: Look me in the eyes: A survey of eye and gaze animation for virtual agents and artificial systems. Eurographics state-of-the-art report, 2014, págs. 69-91.
63. Ping, H.Y., Abdullah, L.N., Sulaiman, P.S., Halin, A.A., Computer facial animation: A review. International Journal of Computer Theory and Engineering, vol. 5, n.o 4, pág. 658, 2013.
64. Milgram, P., Kishino, F.: A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, vol. 77, n. o 12, págs. 1321-1329, 1994.
65. T.S.S of International Telecommunication Union (ITU): Next Generation Networks - Frameworks and functional architecture models - Overview of the Internet of Things - Recommendation ITU-T Y.2060. SERIES Y: GLOBAL INFORMATION INFRASTRUCTURE, INTERNET PROTOCOL ASPECTS AND NEXT-GENERATION NETWORKS, vol. Y.2060, n.o 1, págs. 1-22, 2012.
66. T.P.C. Niantic: Pokemon-Go homepage, dirección: <https://www.pokemongo.com/> (consultado el 8 de abril de 2019).
67. Gironacci, I.M., McCall, R., Tamisier, T.: Mixed reality collaborative storytelling. Proceedings of the 32nd International BCS Human Computer Interaction Conference, BCS Learning & Development Ltd., 2018, pág. 85.
68. Shen, Y., Ong, S.K., Nee, A.Y.C.: Augmented reality for collaborative product design and development. Design Studies, Volume 31, Issue 2, 2010, Págs. 118-145, ISSN 0142-694X.
69. Argenta, C., Murphy, A., Hinton, J., Cook, J., Sherril, T., Snarski, S.: Graphical user interface concepts for tactical augmented reality. Head-and Helmet-Mounted Displays XV: Design and Applications, International Society for Optics and Photonics, vol. 7688, 2010, pág. 76880I.
70. You, X., Zhang, W., Ma, M., Deng, C., Yang, J.: Survey on Urban Warfare Augmented Reality. ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 7, n.o 2, pág. 46, 2018.
71. 114. Amburn, C.R., Vey, N.L., Boyce, M.W., Mize, J.R.: The Augmented REality Sandtable (ARES). Army Research Lab Aberdeen Proving Ground MD Human Research and Engineering, inf. tec., 2015.