



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL  
DE LA RIOJA

PROGRAMA DE DOCTORADO EN  
CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

TESIS DOCTORAL

**Nueva generación de herramientas para mejorar la formación en línea mediante la aplicación de human augmentation y realidades extendidas a través de soluciones semiautomáticas y robustas.**

**Memoria presentada  
por**

Miguel Ángel López Montellano  
para optar al grado de Doctor  
por la Universidad Internacional de La Rioja

**Dirigida por los Doctores:**

Rubén González Crespo  
y  
Juan Manuel Lombardo Enriquez

Logroño, 2021



## Dedicatoria

*A María, mis padres y mi familia*

## Agradecimientos

Que curiosa es la vida. Puedo ver, como parpadeos, las pequeñas decisiones que me han acercado siempre a la investigación, el desarrollo y la innovación. Cómo, proyecto tras proyecto, ya sea personal o laboral, he estado siempre acercándome a este punto de mi vida, sin tomar una decisión directa a él. El doctorado y, por ende, esta tesis, no es un objetivo sino un paso más en una carrera que me encanta, que me apasiona y que tengo la suerte de vivir. La creación de tecnología, la investigación, el desarrollo y la innovación aplicada.

Siempre me he considerado una persona afortunada, desde el primer momento de la vida hasta el actual, y es que, la mayor fortuna que hay en la vida es tener cerca de ti a las personas, ya sean amigos, familiares o colegas, que te puedan ayudar a ser la persona que quieras ser. Así, me gustaría empezar agradeciendo a mi director de tesis Rubén Gonzalez Crespo, pues siempre ha dado por hecho que todo acabaría bien, incluso en los momentos que no estaban “bien”. De igual modo, a mi codirector, compañero, pero sobretodo amigo, Juan Manuel Lombardo Enríquez por ayudarme, animarme, guiarme y darme paz de espíritu en el difícil camino del doctorado, así como en la vida.

En un plano personal los primeros de los que me acuerdo es de mis padres. No han tenido una vida fácil, pero siempre me han espolcado a avanzar, y a no conformarme, todo proyecto fue bueno si yo pensaba que era bueno, me enseñaron a ser dueño de mis éxitos, pero sobretodo de mis fracasos, pues solo en estos encontramos el mayor de los tesoros, el conocimiento para mejorar.

La siguiente es mi mujer, María. A lo largo de nuestra vida en común me ha visto elegir el trabajo, la investigación y la dedicación en lugar de disfrutar el tiempo con ella más veces de las que me acuerdo o de las que me gusta acordarme y ella siempre ha estado a mi lado con cariño, aliento y apoyo. En nuestra vida juntos hemos disfrutado la alegría de la felicidad y la dificultad de la enfermedad y siempre, juntos, hemos podido superarlo cada uno de los retos de

la vida.

Hay otras personas que sin su apoyo y su ayudar, esta tesis no sería posible, en primer lugar, a mis compañeros de la Fundación I+D del software libre (FIDESOL) todos de una forma u otra han ayudado, pero me gustaría hacer una mención especial a Sara Terrón, quién me ha simplificado un camino complicado, también a todo el equipo de doctores y doctorandos de Fidesol. En segundo lugar, a otros compañeros y amigos que me han tenido que soportar en este proceso ellos son Emilio, Juan Antonio, Guille, David, Rubén, Ángel y la última mención es para mi amiga Laura, quién me ayudo a estudiar en la universidad de Granada, primer paso para la andadura que nos lleva hasta hoy en día.

Quiero terminar con una frase de aliento que María me dice cuando emprendo un nuevo proyecto. “Si no tienes algo, te lo buscas”, que representa las ganas de continuar aprendiendo pues esta tesis, solo abre nuevas preguntas por responder y posibilidades por explorar.

*Demasiados eruditos piensan que la investigación es solo una búsqueda cerebral. Si no hacemos nada con el conocimiento que obtenemos, entonces hemos desperdiciado nuestros estudios. Los libros pueden almacenar información mejor que nosotros..., lo que nosotros hacemos, y los libros no pueden, es interpretar. Así que, si no se van a extraer conclusiones, bien puedes dejar la información en los textos. Jasnah Kholin  
Brandon Sanderson, libro El camino de los reyes*



## Resumen

La prevención de riesgos laborales es un reto de la comunidad científica a día de hoy. En 2018, en Europa, ocurrieron 3.1 millones de incidentes relacionados con la seguridad y salud en el puesto de trabajo. Dentro de las distintas acciones que se realizan, la formación y concienciación de los peligros existentes en el puesto de trabajo es una de las primeras y más útiles herramientas de las que disponemos. Diversos estudios que podemos encontrar en la literatura científica abalan la capacidad de las realidades extendidas de ser un medio ideal para el entrenamiento de los profesionales en las nuevas generaciones. El problema es que a día de hoy los costes operativos y de implantación de este tipo de tecnologías paralizan toda aplicación. Esta situación de bloqueo nos permite exponer nuestra hipótesis de partida y el objetivo general, que viene dado por dicha hipótesis, así como los objetivos específicos que lo componen. Siendo esto así, estudiamos el campo de human augmentation y realidades extendidas para crear una solución robusta haciendo uso de inteligencia artificial y algoritmos de diseño semiautomático de procesos. Mediante esta nueva solución podemos ofrecer un medio para romper los impedimentos existentes para la aplicación universal de este tipo de tecnologías. Como conjunto de artículos de esta tesis por compendio ofrecemos los 4 que describen el plan investigador realizado. Los artículos exponen las investigaciones necesarias para crear una solución segura y robusta que permite desacoplar el proceso de diseño de experiencias en realidad extendida de las tareas programáticas. Además, muestran los resultados de nuestra experiencia piloto con más de 287 minutos de formación en realidad virtual. De los datos generados por los usuarios encontramos que el 83,18% de las experiencias acabaron con éxito y que el 92.13% de los usuarios puntuaron como muy positivo el uso de este tipo de herramientas para su formación en prevención de riesgos laborales. Finalmente, en las conclusiones, abordamos el estudio de la cobertura de los objetivos específicos realizados, a partir de este estudio podemos determinar el correcto cumplimiento del objetivo general y por tanto de la hipótesis de partida de la tesis doctoral .

**Palabras clave:** human augmentation, realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta, ciberseguridad, elearning, prevención de riesgos laborales





## Abstract

For the scientific community, the Occupational safety and health is a challenge now a days. In 2018, the number of the issues about the workers with any injury or illness was 3.1 million in Europe. The society has a lot of tools to face to the occupational safety and health problem, one of them most important, common, and useful tools for this business is the learning, training, and consciousness about the hazard and dangerous in the job. In the scientific literature we can find papers about the different approach of the extended reality to train or teach the workers. Today, the stopper to apply as universal way these technologies in industry, engineering and constructions is the cost to create experiences. So, this background we can introduce our initial hypothesis and based on our hypothesis, i propose the main objective and the set of secondary objectives that these secondary objectives compose the main objective. To achieve the objectives, I study the human augmentation scientific field and I focus on extended reality to create a solution, that using the artificial intelligent and semiautomatic algorithm, to allow to create and publish in cheap way a training and learning extended reality experiences. Thus, we can resolve the stoppers to use it as new generation tools to train workers in occupational safety and health. As a compendium thesis I use 4 papers wrote in my research road map. These papers describe the cybersecurity and robust solution to split the experience creating process into two phases such as design and programming and to remove the programming phase. Moreover, the solution uses the cloud to distribute the new experience without any new install process. So, I describe the pilot experience where the set of students used the solution to train in occupational safety and health. In this pilot experience store data from 287 minutes of the executions. The data highly that 83,18% of the experience were success and the 93,12% of the student score the extended reality as a very good solution as new tool to learn occupational safety and health topics. Finally, at the conclusion of the thesis review the way to resolve all objective and the initial hypothesis.

**Keywords:** human augmentation, virtual reality, augmented reality, mixed reality, elearning, occupational safety and health

---

## Índice de contenidos

---

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>12</b>
1.1	Planteamiento del trabajo . . . . .	13
1.2	Hipótesis y objetivo general de trabajo investigador . . . . .	15
1.3	Método de investigación . . . . .	18
1.4	Técnicas de análisis científico . . . . .	19
1.4.1	Análisis de bases de datos científicas . . . . .	20
1.4.2	Benchmarking . . . . .	20
1.4.3	Pruebas de concepto . . . . .	20
1.5	Contenido de la tesis . . . . .	21
<b>2</b>	<b>Estado del Arte</b>	<b>30</b>
2.1	<i>Human Augmentation</i> . . . . .	31
2.1.1	La definición de <i>Human Augmentation</i> y sus clasificaciones . . . . .	37
2.1.2	Clasificaciones de <i>Human Augmentation</i> . . . . .	39
2.1.3	Casos de uso de la <i>Human Augmentation</i> . . . . .	42
2.1.4	El discurso ético en la <i>Human Augmentation</i> . . . . .	46

2.2	Realidades extendidas . . . . .	47
2.2.1	Realidad virtual . . . . .	49
2.2.2	Realidad mixta . . . . .	57
2.3	Protección del dato y sistemas robustos . . . . .	67
2.3.1	Integridad del dato . . . . .	68
2.3.2	Protección del dato y sistemas de transmisión de mensajes . . . . .	68
2.3.3	Autenticación y autorización . . . . .	69
2.4	Conclusiones del estado del arte . . . . .	70
<b>3</b>	<b>Objetivos</b>	<b>73</b>
3.1	Objetivos específicos . . . . .	74
<b>4</b>	<b>Discusión integradora</b>	<b>78</b>
4.1	Investigación preliminar . . . . .	79
4.2	Desarrollo de la investigación . . . . .	81
<b>5</b>	<b>Artículos</b>	<b>90</b>
5.1	Intelligent Detection and Recovery from Cyberattacks for Small and Medium-Sized Enterprises . . . . .	91
5.2	CreaMe: human augmentation platform for the creation of training in educational lakes inherent todangerous situations . . . . .	100
5.3	DesignMe-MR: Toolbox for the creation of learning scenes to training in occupation risk prevention with mixed reality . . . . .	111
5.4	Towards a Solution to Create, Test and Publish Mixed Reality Experiences for Occupational Safety and Health Learning: Training-MR . . . . .	118
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>132</b>
6.1	Conclusiones de la tesis . . . . .	133

<b>7 Trabajos futuros</b>	<b>142</b>
7.1 Líneas de investigación futuras . . . . .	144
<b>8 Bibliografía</b>	<b>150</b>
<b>9 Anexos</b>	<b>164</b>
9.1 Anexo I. Cuestionario a alumnos en la experiencia piloto . . . . .	165
9.2 Anexo II. Cartas de apoyo de la empresa privada . . . . .	172
9.3 Anexo III. Glosario de términos . . . . .	176

---

## Listado de imágenes

---

1	Gráfica de las publicaciones científicas en prevención de riesgos laborales. . . .	14
2	Ciclo de formación en la nueva solución . . . . .	17
3	Publicaciones en Scopus a partir de la consulta TITLE-ABS-KEY (" <i>Human Augmentation</i> "). . . . .	31
4	Gráfica de la búsqueda en Scopus TITLE-ABS-KEY (" <i>Human Augmentation</i> ") por área de conocimiento . . . . .	33
5	Gráfica de la búsqueda en Scopus TITLE-ABS-KEY (" <i>Human Augmentation</i> ") representando el país de origen de la fuente de la publicación . . . . .	33
6	Gráfica de la búsqueda en Scopus TITLE-ABS-KEY (" <i>Human Augmentation</i> ") representando el país de origen de la fuente de la publicación con una limitación a los años [2017 - 2021] . . . . .	34
7	Co-robot para ofrecer apoyo a operarios . . . . .	35
8	Distribución gráfica de las distintas tecnologías de <i>Human Enhancement</i> y <i>Human Augmentation</i> en función de la pertenencia de esta tecnología a cada campo . . . . .	38
9	Representación de Virtual Continuum . . . . .	48

10	Gráfica de las publicaciones científicas con la palabra clave “virtual reality” en el título, abstract o palabras clave . . . . .	50
11	Gráfica de las publicaciones científicas desde 1970 en el campo de las ciencias de la computación . . . . .	51
12	Consulta TITLE-ABS-KEY (“mixed reality”) . . . . .	60
13	Gráfica comparativa sobre el número de publicaciones entre realidad virtual y mixta. . . . .	61
14	Comparativa de crecimiento de publicaciones por temáticas . . . . .	62
15	Distribución de ejecuciones en función del porcentaje de tareas de PRL resueltas con éxito . . . . .	84
16	Primera parte del cuestionario a los alumnos de la experiencia piloto de CreaMe	166
17	Segunda parte del cuestionario a los alumnos de la experiencia piloto de CreaMe	167
18	Distribución por sexos de los alumnos que participaron en la experiencia piloto de CreaMe . . . . .	168
19	Distribución por edades de los alumnos que participaron en la experiencia piloto de CreaMe . . . . .	168
20	Distribución de las respuestas a la pregunta: ¿Te pareció una buena forma de adquirir contenidos? . . . . .	169
21	Distribución de las respuestas a la pregunta:¿Te pareció sencilla de utilizar? . . .	169
22	Distribución de las respuestas a la pregunta:¿Sentiste signos de mareo? . . . .	170
23	Distribución de las respuestas a la consulta :Dificultad para entender que hacer	170
24	Distribución de las respuestas a la pregunta:¿El movimiento te pareció fluido? .	171

---

Listado de tablas

---

1	Resultado de las ejecuciones en la experiencia piloto de CreaMe. . . . .	84
---	--	----





## CHAPTER 1

## Introducción

## Resumen del capítulo

*Durante el capítulo de introducción, en primera instancia, presentamos la motivación social que capto la atención del doctorando, presentado el reto existente hoy en día en la búsqueda de salud y seguridad laboral de forma generalizada. Esta dificultad social dio lugar a la cuestión original del plan de investigación. Con la aplicación social y la cuestión de investigación se presenta la hipótesis de partida de la presente tesis y, a partir de la hipótesis, se ofrece el objetivo general del plan de investigación necesario para estudiar y, si es posible, dar cumplimiento a esta hipótesis.*

*A continuación, se presenta la metodología científica utilizada para llevar acabo el desarrollo de este plan de investigación así como las dos etapas que han compuesto el plan. Detallando el objeto de cada etapa, así como el método de trabajo aplicado. Finalmente, cerramos el capítulo con la descripción de los distintos capítulos que encontraremos en esta tesis.*

## 1.1 Planteamiento del trabajo

La ciencia en general busca mejorar la situación de la sociedad a todos los niveles. Investigadores en todos los campos buscan con la aplicación de sus trabajos poder generar un impacto que redunde en el beneficio de las personas. El modo puede ser muy diferente, ayudándoles a superar sus enfermedades, conectándonos unos con otros o desvelando las teorías físicas que definen nuestra realidad.

Hoy en día, la sociedad y la ciencia tienen aún un importante reto en la seguridad en el trabajo. Aproximadamente 3.1 millones de trabajadores de la industria privada informaron de un accidente en su desempeño profesional en 2018, además de esto, los datos arrojan un incremento de la mortalidad en accidente de 1.8% en la Unión Europea (EuroStats, 2021). Así mismo, en otro informe a partir de datos a nivel mundial (Hämäläinen et al., 2017) informa que sucedieron 373 millones de accidentes laborales en el mundo. A estos datos hay que sumar los datos de enfermedades, complicaciones y muertes derivadas de las enfermedades profesionales (Takala et al., 2014). El estudio procedente de Global Burden of Disease Study en 2015 informaba que el 5% de la mortalidad en personas activas procedía de una razón derivada de la ejecución de su profesión (Wang et al., 2016).

Un problema que afecta a la salud de millones de personas no es invisible para la comunidad científica la cual ha aumentado su esfuerzo año tras año. Una representación gráfica de la implicación de la comunidad científica por buscar una manera de mitigar el problema de la seguridad en los puestos de trabajo la encontramos en la figura 1, donde puede observarse de forma clara el incremento de los artículos de investigación.

En esta misma línea de luchar por la mejora en la prevención de riesgos laborales, y con el fin de ayudar a centralizar esfuerzos de investigación, desarrollo e innovación, en 2012 se crea en Europa el proyecto EUSafe, cuyo fin es fomentar el estudio en materia de prevención de riesgos laborales, apoyando la investigación en este área (Pietrafesa et al., 2020)

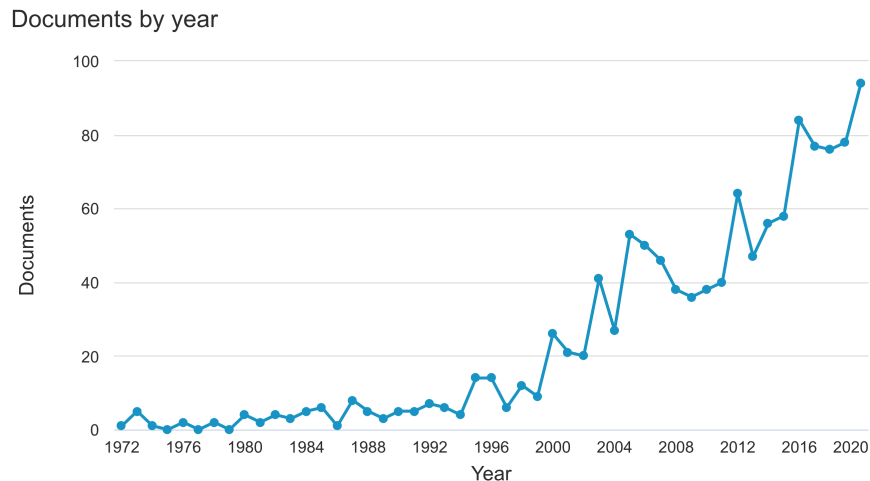


Figure 1: Gráfica de las publicaciones científicas en prevención de riesgos laborales.  
Fuente: Scopus

La formación ocupa un papel de suma importancia en la lucha contra los accidentes laborales. La concienciación de la seguridad de los elementos de protección pasivos y de los protocolos de emergencia componen la primera línea de defensa de la sociedad contra esta situación. Con el objetivo de aportar ayuda a este problema se asienta este trabajo de investigación. Durante tiempo, la aplicación de realidades extendidas ha sido explorada por la comunidad científica en varias ocasiones, con diversos enfoques.

Las soluciones presentes en la literatura científica poseen diversas dificultades para permitir su implantación generalizada. Estas dificultades estriban en el coste, bien económico, bien en recursos humanos, derivados de la creación de experiencias en realidades extendidas. Su diseño e implementación es costosa y los trabajos no se han planteado con una aplicabilidad clara (Raisamo et al., 2019) (Delgado et al., 2020).

De esta forma en este momento se combina, por un lado, la siniestralidad laboral que es uno de los grandes problemas de la sociedad a nivel mundial, por otro lado, la capacidad tecnológica bloqueada por un conjunto de barreras que evitan su aplicabilidad real, y finalmente, el esfuerzo nacional, europeo y mundial en I+D+i que buscan el modo de implantar nuevas ideas que ayuden a luchar contra este problema. Con esta situación nos hacemos la siguiente pregunta:

### Cuestión de la tesis doctoral

¿Podemos crear una solución a las grandes barreras para la universalización y la democratización del acceso a la formación en realidades extendidas de manera que este nuevo método para instruir a los profesionales sea la punta de lanza en la lucha contra los accidentes laborales en las próximas décadas?

## 1.2 Hipótesis y objetivo general de trabajo investigador

El trabajo de investigación de esta tesis doctoral explora distintos campos de actuación con el fin de aportar un paso más en el avance de la sociedad para solventar un problema que causa daños físicos y mortales a miles de personas a lo largo del mundo.

La formación en prevención de riesgos laborales es algo natural en el día a día de cualquier entidad donde los trabajadores a diario se enfrentan a situaciones de mayor o menor riesgo. Estas situaciones pueden ser de muy diversa índole. Por ejemplo, un trabajador de la construcción tiene interiorizado el uso del casco como elemento de protección pasivo de igual manera que un trabajador en alturas utiliza un arnés de seguridad antes de iniciar su trabajo. Pero, un problema que subyace a todos ellos es la percepción del peligro. En el mismo ejemplo anterior, el trabajador en alturas tiene menos probabilidad de olvidarse revisar y ajustar adecuadamente el arnés pues el peligro es continuo e instintivo, por su lado, el trabajador de la construcción se equipa su casco como una acción cotidiana más por norma que como protección. Así, el error por el cual el trabajador podría olvidar equipar el casco es una situación que se repite más frecuentemente de lo que cabría esperar. La formación en prevención de riesgos laborales no solo tiene un matiz de entrenamiento, sino también tiene un matiz de divulgación y concienciación de los riesgos que conlleva una determinada tarea ya que, como en el caso del operario de la construcción o de un trabajador en una industria con gases químicos, a veces, no existe una percepción clara del peligro. Es aquí donde las realidades extendidas, con su capacidad

de inmersión en una experiencia digital y controlada puede ser una herramienta de gran ayuda en todos los sectores.

Actualmente nos encontramos en el momento de la ciencia donde la capacidad tecnológica está suficientemente madura, pero no existen medios para su puesta en marcha de manera generalizada. (Raisamo et al., 2019) en su trabajo recalca un claro elemento de bloqueo en el uso de las experiencias extendidas como elemento universal en formación. Este bloque es el elevado coste económico de la creación de experiencias formativas. Y marca un claro campo de investigación en las técnicas y métodos que permitan, mediante simplificación del proceso de creación de experiencias en realidades extendidas, eliminar esas barreras económicas para su uso universal.

En la misma línea (Delgado et al., 2020) en su estudio, determina que en un futuro inmediato las realidades extendidas van a tener un papel determinante en el entrenamiento a todos los niveles de los trabajadores si las barreras de entrada de la tecnología se eliminan. Es con este ecosistema donde presentamos nuestra hipótesis de partida:

#### Hipótesis de partida

Podemos hacer uso de algoritmos, técnicas y métodos de diferentes áreas de las ciencias de la computación que nos permitan crear una solución capaz de romper las barreras económicas que son el principal bloqueo para la aplicación generalizada y universal de la realidad extendida como medio para la formación de profesionales en prevención de riesgos laborales.

Y de esta hipótesis ofrecemos el objetivo general de la tesis doctoral:

#### Objetivo General de la tesis

Ofrecer, por medio de las nuevas tecnologías como inteligencia artificial, sistemas inteligentes y descripción de procesos, un modo por el cual podamos reducir el tiempo de desarrollo de una experiencia virtual formativa, eliminando así la barrera actual de aplicación de la tecnología en los sectores de ingeniería, industria y construcción.

Si analizamos el objetivo general de la tesis encontramos como principal fin, que viene impuesto por la hipótesis de partida, que la solución planteada debe ser utilizada por un profesional no técnico. En este sentido nos referimos a un profesional sin conocimientos de informática o programación. El usuario ideal de nuestra solución sería un responsable de seguridad, experto en prevención de riesgos laborales o formador en prevención de riesgos laborales del área de ingeniería civil. Estos profesionales tienen los conocimientos necesarios para determinar: riesgos y amenazas, plan de formación, así como acciones de validación de la formación. Para poder llevar a cabo este objetivo debemos utilizar diferentes herramientas de inteligencia artificial para el desarrollo automático de procesos, así como de algoritmos y lenguajes de descripción de procesos.

Otro elemento que destacamos en el objetivo general de la tesis es la capacidad de publicar las experiencias formativas. Bien a un subconjunto de usuarios de la solución, por ejemplo, a los miembros de su organización, o bien al público en general. En la figura 2 podemos observar el ciclo de vida de una formación en la solución, todo este ciclo de vida debe ser transparente para los usuarios, es decir, no debe ser necesario ninguna nueva compilación ni instalación de ningún elemento. De esta manera se elimina cualquier barrera técnica de acceso a la formación.

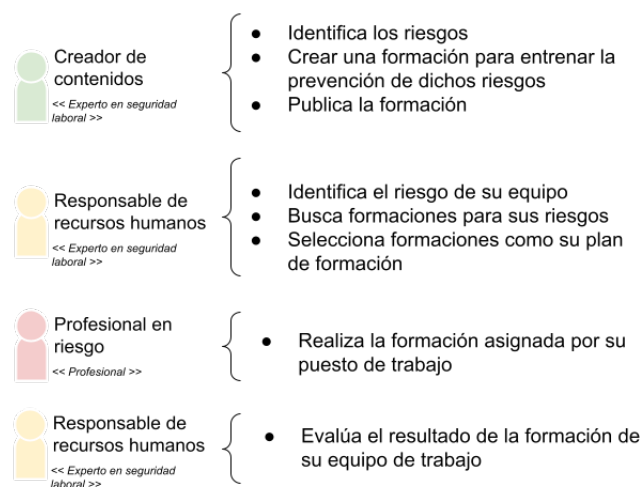


Figure 2: Ciclo de formación en la nueva solución

Fuente: Elaboración propia

### 1.3 Método de investigación

Como método de investigación en el presente trabajo siempre se ha seguido el método científico para la ejecución del plan de investigación. Este plan de investigación ha tenido dos etapas bien definidas. Donde, a su vez, la metodología de ejecución de las tareas ha sido la más adecuada en cada caso. Estas etapas son:

1. Etapa conceptual: durante esta etapa se realizaron las tareas, estudios, trabajos y análisis previos que dieron lugar a la detección de la cuestión, la hipótesis de partida y el objetivo general del plan de investigación.
2. Etapa de ejecución: durante esta etapa se realizaron todos los trabajos orientados al diseño, implementación y evaluación de las distintas acciones cuyo fin era completar los objetivos del proyecto.

Durante la primera etapa, la etapa conceptual, no se definieron fases para su ejecución. Durante esta etapa se realizó un profundo análisis de la literatura científica existente. En primera instancia se analizó el estado del arte de *Human Augmentation*, inicialmente en general para posteriormente centrarnos en las aplicaciones orientadas al apoyo en formación en cualquier campo. Continuamos explorando los avances actuales en materia de realidad virtual y realidad mixta. En este estudio se analizaron las aplicaciones en formación y educación buscando detectar los elementos claves en el éxito de los trabajos de investigación pasados. Finalmente concluimos el análisis técnico con el estudio de realidad mixta, nos centramos en conocer los usos actuales que le da la ciencia y cuáles fueron las limitaciones de esos trabajos. Con el fin del análisis tecnológico arrancamos un estudio de la aplicación de las *Human Augmentation* y realidades extendidas en la industria, ingeniería y construcción, así conocimos las dificultades existentes actualmente para la aplicación generalizada de estas tecnologías en entornos reales. Pudimos determinar la cuestión de trabajo, así como la hipótesis de partida. Con la hipótesis de partida, el objetivo general y los objetivos específicos que componen a este objetivo general

podimos arrancar la siguiente etapa.

La segunda etapa del plan de investigación lo componen las acciones y tareas orientadas a diseñar e implementar la solución tecnológica propuesta, así como a realizar las acciones necesarias para la validación de los resultados de la misma. Como metodología de trabajo se utilizó una metodología ágil de investigación. Esta metodología nos permitió ir afrontando tareas de estudio, análisis, diseño, implementación y validación de fragmentos de la solución de forma incremental pudiendo reorientar el trabajo de investigación con los nuevos retos y descubrimientos que fueron aconteciendo. De esta forma, para cada elemento de estudio, se realizaron tareas de pruebas de concepto, trabajos de diseño e implementación de los elementos software necesarios, así como el diseño de los algoritmos que intervienen en su ciclo de vida. Finalmente fueron probadas en laboratorio por distintos usuarios. Estas pruebas determinaron próximas acciones de refinamiento del trabajo dando origen a nuevas tareas. En esta etapa también encontramos la experiencia piloto de CreaMe con 287 minutos de experiencias formativas en realidad virtual que nos dieron un conjunto de datos de gran valor para analizar la viabilidad del plan investigador. Así mismo, durante la ejecución de esta etapa de desarrollo se realizaron los artículos de investigación que fueron enviados a los distintos puntos de la comunidad científica y que son parte de esta tesis por compendio.

## **1.4 Técnicas de análisis científico**

Como parte del método de investigación que ha guiado el desarrollo de esta tesis, el investigador ha utilizado distintas técnicas o herramientas de análisis científico. Estas herramientas tenían como objetivo dotar al proceso de un formalismo y calidad de manera que las conclusiones generadas por su aplicación fueran una base sólida sobre la que asentar la investigación. Las herramientas utilizadas fueron la que describimos a continuación.



### 1.4.1 Análisis de bases de datos científicas

El trabajo de investigación realizado en la primera etapa del desarrollo del plan investigador tuvo una importante carga de análisis detallado y exhaustivo de las fuentes de información científica existentes, con el fin de conocer los avances de la ciencia publicados en el área. Así se consultaron bases de datos de publicaciones científicas como Scopus, IEEE, Web of science entre otras. Así como también se utilizaron herramientas de búsqueda de artículos científicos como Google Scholar. Además, se utilizaron redes sociales de propósito de investigación como ResearchGate con el fin de obtener el mayor volumen de información actualizada posible. Estas redes de interconexión de investigadores dan la capacidad de hablar con expertos de todo el mundo en el área que pueden compartir sus trabajos, impresiones y conocimiento.

### 1.4.2 Benchmarking

Nuestro trabajo de investigación tenía como necesidad el uso de distintos dispositivos y elementos que pueden ser adquiridos de diferentes fabricantes. Es por esto por lo que se realizaron trabajos de *benchmarking* cuyo fin era determinar las virtudes, defectos, capacidades, requisitos de funcionamiento y limitaciones de las distintas tecnologías comparadas. De esta manera, podríamos tener una elección correcta de los elementos a utilizar en nuestro trabajo que mejor se adecuarán al desarrollo del mismo. Un claro ejemplo de este proceso fue la selección de las gafas de realidad virtual pues estos dispositivos se han convertido en un *commodity* de uso general y existen en el mercado muchas gafas con grandes capacidades y diferentes limitaciones. Fue por tanto necesario una comparación formal para determinar el mejor elemento a utilizar.

### 1.4.3 Pruebas de concepto

Esta técnica proviene del área de la ingeniería de software, su principal objetivo es el de evaluar la aplicabilidad en una determinada tecnología en un caso de uso concreto. La parte más

importante del diseño de una prueba de concepto es optimizar el esfuerzo y por tanto la similitud del caso de uso de la prueba. Si diseñamos una prueba de concepto muy similar a la situación real invertiremos tantos recursos como si realizáramos el trabajo directamente y, si el resultado fuera de fracaso se habrán perdido mucho esfuerzo. Por otro lado, si la similitud es baja con el fin de invertir poco esfuerzo podemos encontrarnos con la peor de las situaciones que, tras una prueba de concepto satisfactoria la implementación final resulte en fracaso y se hayan perdido ambos esfuerzos. Teniendo esto en cuenta, es importante diseñar una prueba de concepto cuyo núcleo de la prueba sea semejante a la situación real, pero es conveniente quitarle todos los agregados que una solución final pueda tener y que no impacten en la prueba de la tecnología, por ejemplo, autenticaciones, autorizaciones, loggers, etc.

## **1.5 Contenido de la tesis**

El plan de investigación descrito está dividido en 7 capítulos además de este primer capítulo introductorio. Estos capítulos son: “Introducción”, “Estado del Arte”, “Objetivos”, “Discusión integradora”, “Artículos”, “Conclusiones” y “Trabajos futuros”. Adicionalmente encontraremos: el capítulo “Bibliografía” y la sección de Anexos.

### **Introducción**

Corresponde al primer capítulo de la tesis doctoral, en él encontraremos la información referente a la motivación inicial que dio origen a la cuestión a la que damos respuesta con los resultados de la tesis. En la misma línea, y a partir de la cuestión a la que se quiere dar respuesta, se propone la hipótesis de partida de nuestro plan de investigación y el objetivo general a cumplir para poder resolver la hipótesis adecuadamente.

También se expone el método de investigación aplicado en el desarrollo del trabajo de investigación, describiendo algunas técnicas de análisis científico utilizado como son: Análisis

de bases de datos científicas, Benchmarking y Pruebas de concepto.

Finalmente se cierra el capítulo con el contenido de la tesis donde describimos el contenido de los capítulos.

## **Estado del arte**

Es el capítulo donde se recogen las averiguaciones, citas, cuestiones y conclusiones más relevantes estudiadas en la etapa de conceptualización del plan de investigación. Para elaborar el estado del arte del plan de investigación, se iniciaron los trabajos para conocer adecuadamente las publicaciones fundamentales y novedosas en el área de *Human Augmentation*.

Posteriormente, el estudio de análisis continuó en dos subáreas de *Human Augmentation* referentes a realidades extendidas. La primera fue la realidad virtual. Se escogió esta realidad en primer lugar por ser la más madura de las dos. Se analizan los trabajos de fundamentos de la realidad virtual, así como las últimas aportaciones en diversos campos. Finalmente, estudiamos con detalle los usos de la realidad virtual aplicada a la formación en general, así como a la formación y entrenamiento en industria.

La siguiente realidad extendida a estudiar fue la realidad mixta. Este campo de la ciencia no ha sido muy explorado por la comunidad científica. El término “realidad mixta” se acuñó en 1994, pero debido a la falta de herramientas y dispositivos que permitan a los investigadores realizar experiencias piloto en situaciones reales la visibilidad de este tipo de tecnologías, en la bibliografía científica, se ha retrasado y es ahora cuando la comunidad científica ha empezado a realizar aportaciones de gran valor utilizándolas. En nuestra labor bibliográfica se analizaron estudios que detallan sus principios y primitivas y, de igual forma que con la realidad virtual, se analizaron distintas aplicaciones poniendo especial énfasis en aplicaciones de formación en general o de formación industrial.

Cerramos el ejercicio de análisis de la literatura científica con los elementos necesarios para ofrecer una solución tecnológica segura. Hoy en día la ciberseguridad amenaza cualquier

sistema informático conectado a Internet, nuestro trabajo de investigación sobre ciberseguridad versó en conocer las principales líneas de trabajo en diversos puntos los cuales eran necesarios para nuestro trabajo y, estudiar cómo podemos combinarlos para ofrecer una solución segura y robusta.

## **Objetivos**

En el capítulo de objetivos realizamos la descomposición de nuestro objetivo general del plan de investigación en el subconjunto de objetivos específicos necesarios para que, al dar cumplimiento al total de los objetivos, podamos afirmar sin duda el cumplimiento del objetivo general del proyecto y así, podamos satisfacer la hipótesis de partida planteada.

## **Discusión integradora**

En el capítulo de discusión integradora se describe el trabajo de investigación realizado a lo largo de la tesis doctoral. Para ello comenzaremos desde los trabajos que precedieron al contenido de esta tesis que nos sirvieron como estudio de investigación base y análisis profundo de la tecnología.

En el apartado “Desarrollo de la investigación” es donde se expone todo el trabajo realizado para dar lugar a los resultados de la tesis aquí expuesta. Se detallarán los logros conseguidos y como cada paso del proceso de investigación sirve de apoyo para el siguiente.

## **Artículos**

Durante este capítulo se listan los artículos de investigación publicados que constituyen esta tesis por compendio. Los artículos son:

1. Intelligent Detection and Recovery from Cyberattacks for Small and Medium-Sized Enterprises.

**Abstract.** *Cyberattacks threaten continuously computer security in companies. These attacks evolve everyday, being more and more sophisticated and robust. In addition, they take advantage of security breaches in organizations and companies, both public and private. Small and Medium-sized Enterprises (SME), due to their structure and economic characteristics, are particularly damaged when a cyberattack takes place. Although organizations and companies put lots of efforts in implementing security solutions, they are not always effective. This is specially relevant for SMEs, which do not have enough economic resources to introduce such solutions. Thus, there is a need of providing SMEs with affordable, intelligent security systems with the ability of detecting and recovering from the most detrimental attacks. In this paper, we propose an intelligent cybersecurity platform, which has been designed with the objective of helping SMEs to make their systems and network more secure. The aim of this platform is to provide a solution optimizing detection and recovery from attacks. To do this, we propose the application of proactive security techniques in combination with both Machine Learning (ML) and blockchain. Our proposal is enclosed in the IASEC project, which allows providing security in each of the phases of an attack. Like this, we help SMEs in prevention, avoiding systems and network from being attacked; detection, identifying when there is something potentially harmful for the systems; containment, trying to stop the effects of an attack; and response, helping to recover the systems to a normal state.*

2. CreaMe: human augmentation platform for the creation of training in educational lakes inherent to dangerous situations

**Abstract.** *Human Augmentation is a field of science that seeks to improve human capabilities and productivity through the application of technologies. The prevention of occupational risks is one of the areas where such technologies may make a valuable contribution. In this paper, we introduce CreaMe, a platform with the ability to create immersive virtual experiences. The objective is to create training content quickly and at a low cost*

*by employing human augmentation technologies to transfer theoretical principles into real work. Data from the pilot experience are also presented. We collected over 280 minutes of virtual experiences by using CreaMe in 3 different training lessons. Following the pilot experience, we analysed variables on the evolution of knowledge about occupational risks, improvement of general user knowledge, user satisfaction with the new virtual experience, and the user's ability to use the virtual environment. We can point out that 83.18% of users successfully completed tasks, and 92.13% of users rated post-experience satisfaction very positively. Also, CreaMe was deemed a tool that can contribute to the prevention of occupational risks and, therefore, to workers' wellbeing, health, and productivity in any industry. The development of CreaMe will also allow for the application of human augmentation in the prevention of occupational risks from any work that may pose a hazard to the worker.*

3. DesignMe-MR: Herramienta para la creación de escenarios de formación para la prevención de riesgos laborales con realidad mixta

**Abstract.** *Actualmente la Industria 4.0 ha cambiado de forma radical el funcionamiento de las operaciones productivas. Este cambio impacta de forma dramática en los procesos formativos de los operarios, bien por la necesidad de conocer nuevos modos de operar con maquinaria, bien por la posibilidad de aprender de formas que antes no se podían ofrecer. La aplicación de la realidad mixta como parte del proceso formativo de los operarios está en riesgo debido a la dificultad en coste por la complejidad de crear las experiencias formativas útiles. DesignMe-MR es una herramienta cuyo objetivo es la simplificación del proceso de creación de una experiencia formativa en realidad mixta que vuelva viable la implantación generalizada de la realidad mixta como una herramienta para la formación de los operarios en cualquier industria o ingeniería. Para ellos DesignMe-MR utiliza la propia realidad mixta para facilitar el proceso de creación de las formaciones en realidad mixta, siendo así una herramienta de gran utilidad para los creadores. Las pruebas*

*ofrecen una alta satisfacción de los usuarios en la aplicación de la realidad mixta tanto en el proceso de creación de contenidos como en la ejecución de las formaciones resultantes.*

4. Towards a solution to create, test and publish mixed reality experiences for occupational safety and health learning: Training-MR

**Abstract.** *Artificial intelligence, Internet of Things, Human Augmentation, virtual reality, or mixed reality have been rapidly implemented in Industry 4.0, as they improve the productivity of workers. This productivity improvement can come largely from modernizing tools, improving training, and implementing safer working methods. Human Augmentation is helping to place workers in unique environments through virtual reality or mixed reality, by applying them to training actions in a totally innovative way. Science still has to overcome several technological challenges to achieve widespread application of these tools. One of them is the democratisation of these experiences, for which is essential to make them more accessible, reducing the cost of creation that is the main barrier to entry. The cost of these mixed reality experiences lies in the effort required to design and build these mixed reality training experiences. Nevertheless, the tool presented in this paper is a solution to these current limitations. A solution for designing, building and publishing experiences is presented in this paper. With the solution, content creators will be able to create their own training experiences in a semi-assisted way and eventually publish them in the Cloud. Students will be able to access this training offered as a service, using Microsoft HoloLens2. In this paper, the reader will find technical details of the Training-MR, its architecture, mode of operation and communication.*

## **Conclusiones**

En el capítulo de conclusiones analizaremos los resultados obtenidos y como estos cubren los objetivos específicos planteados. Así mismo, expondremos cómo la cobertura de los objetivos

específicos resuelve el objetivo general y nos permiten dar por resuelta la hipótesis de partida.

Adicionalmente, daremos respuesta a la cuestión planteada en el inicio del plan de investigación y continuaremos exponiendo como diversas empresas privadas entre la que destaca IBM, se han visto interesadas por los resultados de esta tesis.

## **Trabajos futuros**

En el capítulo de trabajos futuros analizaremos algunas de las líneas que esta tesis abre a la comunidad científica. Permitiendo y facilitando la inclusión de nuevos investigadores a este campo o cualquier otro relacionado con *Human Augmentation*, realidad virtual o realidad mixta.

También expondremos algunos trabajos no técnicos futuros que podrían ser adecuados de realizar para continuar con las investigaciones planteadas en la tesis.

## **Bibliografía**

Como es habitual en todo trabajo de investigación encontraremos el listado de citas utilizadas a lo largo de todo el documento.

## **Anexos**

Esta tesis de investigación posee tres anexos para contener información de interés. Estos anexos son:

- Anexo I. Cuestionario de la experiencia piloto: donde encontraremos la información referente al cuestionario desarrollador en la experiencia piloto, así como las gráficas que describen las respuestas de los alumnos
- Anexo II. Cartas de apoyo. En este anexo se listan las cartas de apoyo para la creación de diferentes acuerdos de colaboración con las distintas empresas que han visto interés comercial en los resultados de esta tesis.



- Anexo III. Glosario. Donde encontramos el glosario de términos de referencia para la tesis.



## CHAPTER 2

## Estado del Arte

## Resumen del capítulo

*A lo largo del capítulo de estado del arte presentaremos las averiguaciones más importantes realizadas sobre la literatura científica que han servido de base para el desarrollo del plan de investigación. Iniciamos con un análisis de Human Augmentation revisando desde los primeros momentos de su presentación a la comunidad científica. Estudiando las distintas definiciones y clasificaciones existentes en la literatura y la dificultad para llegar a un consenso. Presentaremos alguno de los trabajos más relevantes de aplicación de la tecnología y pondremos énfasis en aquellos que se centren en la educación, formación o entrenamiento industrial, de ingeniería o en la construcción.*

*Una vez analizado el área de Human Augmentation de forma global nos dirigiremos a presentar los hallazgos en el análisis de dos subáreas de dicho campo, y estas son, realidad virtual y realidad mixta. Con las dos tendremos un método de investigación similar, estudiaremos las definiciones existentes en la ciencia, así como su aplicación en diversos campos. En las aplicaciones, al igual que hicimos con su campo de investigación padre, presentaremos con mayor detalle aquellas orientadas a la formación, la educación y el entrenamiento de profesionales.*

*Finalmente, cerraremos el capítulo de análisis científico con el estudio de los principios de ciberseguridad que rigen sistemas y soluciones como las que deberán llevarse a cabo en esta tesis. Prestaremos atención a la protección de datos, su autenticación y autorización.*

## 2.1 Human Augmentation

Analizar el campo de la ciencia bajo el término “*Human Augmentation*” es explorar una disciplina que busca extender las capacidades del ser humano más allá de sus propias limitaciones. Este concepto en sí mismo es el mismo que han perseguido todos los investigadores a lo largo de toda la historia, como cuando buscaban la caldera a vapor para permitir hacer tareas de gran esfuerzo o cuando los hermanos Wright rompieron las cadenas que el ser humano tenía y que lo anclaban al suelo con su primer aeroplano. Siendo esto así, este término debe ser explicado en mayor detalle para no englobar un concepto universal a la ciencia. *Human Augmentation* persigue la mejora de las capacidades del ser humano en términos de productividad y ejecución de las tareas.

*Human Augmentation* es una disciplina que ha venido creciendo a lo largo de los años, en la figura 3 podemos observar el crecimiento continuo del *keyword* según Scopus en la siguiente consulta sin filtros: TITLE-ABS-KEY (“*Human Augmentation*”).

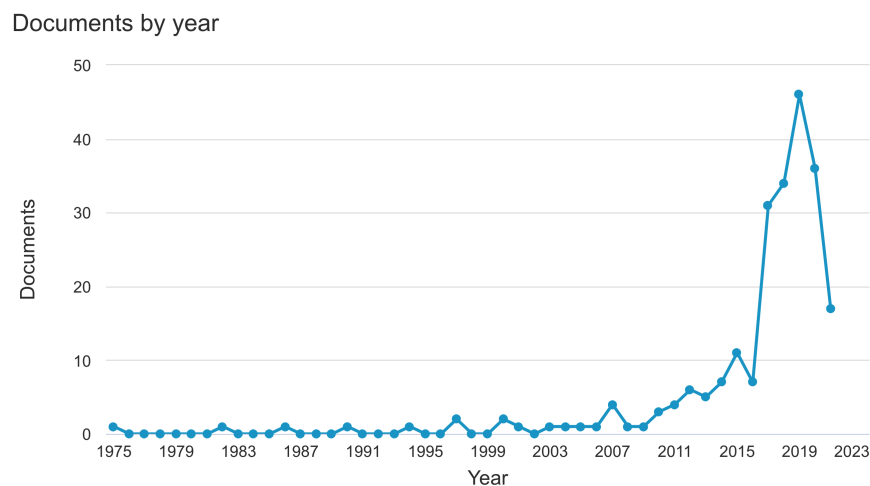


Figure 3: Publicaciones en Scopus a partir de la consulta TITLE-ABS-KEY (“*Human Augmentation*”).  
Fuente: Scopus

Aunque la primera publicación que encontramos es de (Rice et al., 1975) para el diseño de un vehículo, esta publicación no pertenece a nuestro campo. En el primer año donde nos detenemos es en 1986. En este año (Doherty et al., 1986) de IBM habla de las computadoras como una herramienta para el *Human Augmentation*. Es su trabajo postula como los nuevos

servicios de computadoras cambiarán de forma muy importante el modo de trabajo de las personas a lo largo del mundo. Herramientas que hoy en día nos son completamente naturales como el correo electrónico, las conferencias online, o incluso los ficheros se presentaron como una mejora de la inteligencia del ser humano gracias al uso de computadoras. La capacidad de reutilizar trabajos (ficheros), las operaciones de copiar y pegar texto, o la capacidad de copiar una información en un disquete y compartirla con tus colaboradores aumentaron la productividad de los trabajadores de una manera única. Este es el primer caso presente en la literatura científica bajo el keyword *Human Augmentation* que se puede englobar en el concepto que hoy en día tenemos.

Tuvieron que pasar 11 años para que se publicara un trabajo que, no solo coincide con el concepto actual de mejora de las capacidades del ser humano, sino que desde un punto de vista conceptual se asemeja a los proyectos actuales. (Misener et al., 1997) en su estudio utiliza de forma combinada elementos de visión por computador y sistemas de apoyo a la toma de decisiones para que los operarios que interactúan con maquinaria pesada puedan evitar accidentes lo que resultó en un trabajo más rápido. Misener hace un enfoque claro de mejora de la capacidad del ser humano, detectando una deficiencia y aplicando tecnología para solucionarla. Los operarios trabajaron más rápido y mejor con estos nuevos sistemas dado que el riesgo de rotura de la maquinaria disminuyó a la vez que su productividad aumentó.

Hoy en día, *Human Augmentation* es un concepto maduro y consolidado que interactúa con diversos campos de la ciencia. Como suele ser habitual en todas las investigaciones que implican las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) los resultados son transferibles a diversos ámbitos. En la figura 4 podemos observar la distribución de publicaciones por áreas de conocimiento. Es fácil observar que la mayoría proceden de las ciencias de la computación (39.4%) ya que es la cuna de la tecnología. Ahora bien, ingeniería, neurociencia y medicina corresponden otra parte importante de las publicaciones científicas ya que suelen ser los campos de aplicación. Todas ellas suman un 31.9%. Cabe destacar la presencia importante de las

matemáticas ya que *Human Augmentation* y la robótica son disciplinas cercanas y esta última tiene mucha presencia en el campo de investigación en matemáticas.

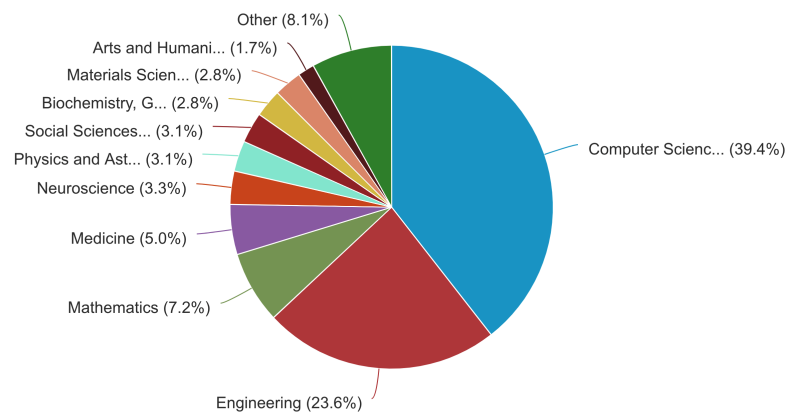


Figure 4: Gráfica de la búsqueda en Scopus TITLE-ABS-KEY ("*Human Augmentation*") por área de conocimiento

Fuente: Scopus

Si analizamos la nacionalidad del desarrollo científico de *Human Augmentation*, este no ha sido homogéneo. En la figura 5 observamos que países como EE.UU, Japón o Reino Unido copan con diferencia las investigaciones en este campo, esto se debe de nuevo al origen de *Human Augmentation* en el campo de la robótica.

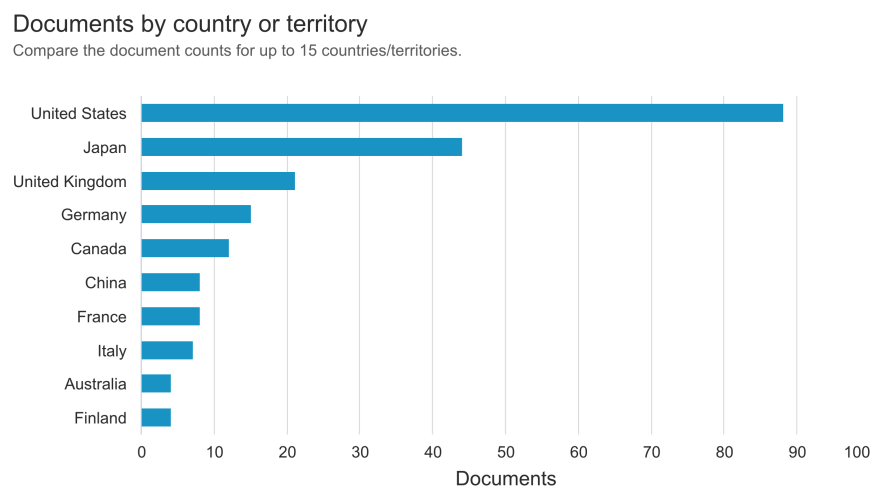


Figure 5: Gráfica de la búsqueda en Scopus TITLE-ABS-KEY ("*Human Augmentation*") representando el país de origen de la fuente de la publicación

Fuente: Scopus

Ahora bien, podemos hacer un análisis de los últimos 5 años en este campo. La figura 6

representa las publicaciones en dichos años. Aquí observamos que la tendencia, si bien se mantiene en que EE.UU es el número 1, se normaliza para un conjunto importante de países Europeos, entre ellos España.

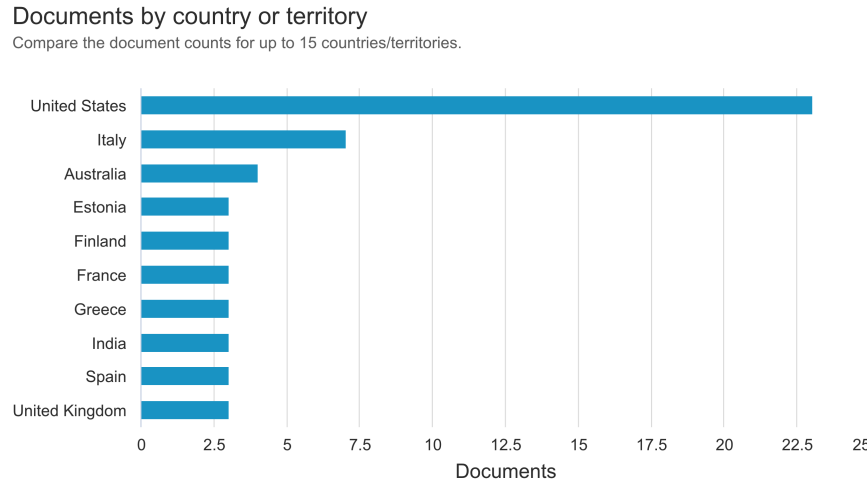


Figure 6: Gráfica de la búsqueda en Scopus TITLE-ABS-KEY (“*Human Augmentation*”) representando el país de origen de la fuente de la publicación con una limitación a los años [2017 - 2021]

Fuente: Scopus

La cercanía entre el área de investigación de *Human Augmentation* y la robótica tiene una raíz en el uso de robots, de diversa índole, que cercanos al ser humano, aumentan sus capacidades. Es decir, estos robots trabajan de forma colaborativa en el desempeño de las tareas del ser humano y son denominados “*Collaborative Robots*” o “co-robot”. Entre estos co-robot en *Human Augmentation* aplican aquellos que son co-robot vestibles. En la figura 7 podemos observar un co-robot de 2012 para la ampliación del número de brazos de un operario.

Los primeros co-robot vinieron procedentes de una subárea de *Human Augmentation* denominada *Human Power* cuyo objetivo es la mejora de las capacidades físicas de los seres humanos mediante el uso de co-robot. Estos co-robot ampliaban sus capacidades como fuerza o resistencia y de este modo mejoran el resultado de sus tareas. Un ejemplo fue la investigación de (Kazerooni, 1996), donde en su artículo expone los trabajos realizados para la creación de co-robot gracias al cual los usuarios podían mejorar sus características de fuerza en la ejecución de determinadas tareas. No todos estos co-robot son vestibles, pero sí cuentan con la idea de ser una herramienta natural en la ejecución del trabajo del operario.



Figure 7: Co-robot para ofrecer apoyo a operarios  
Fuente: Imagen proveniente del trabajo de (Llorens et al., 2012)

Este concepto de “herramienta natural” es lo que diferencia, un co-robot que eleva un peso, a una carretilla. Es decir, por un lado, está el comportamiento autónomo, pero por otro lado está la idea de modificar en la menor medida las acciones del trabajador. Con esta idea (Tsumugiwa et al., 2002) propone un co-robot vestible para apoyar al trabajador. En su trabajo añade el uso de un sistema basado en el control de impedancia para gestionar el movimiento sincronizado entre un robot y un humano (por ejemplo, cargar peso) y así, el movimiento sea natural al operario. El fin último Tsumugiwa era estrechar esta relación entre el co-robot y su usuario.

En la línea de estabilizar el trabajo entre co-robot y usuario es donde encontramos trabajos para relacionar la kinestesia del co-robot con la de su usuario. (Morizono et al., n.d.) en su propuesta postula que no solo se debe investigar en la mecánica intrínseca al robot vestibles (*wearable robot*) sino también en el *feedback* natural que estos robots generan como una traslación de un sentido ampliado de las propias acciones del usuario. Propone dos algoritmos de Kinestesia Transparente (*Transparent Kinesthetic*) es decir, que el movimiento del co-robot y del usuario se sientan similares con el fin de mejorar la usabilidad del co-robot y así sus resultados. Un paso más en esta línea lo realiza (Kazerooni et al., 2004) que presenta un dispositivo equipable en la mano para ofrecer a un operario la capacidad de sostener peso y



tener feedback en la propia mano. La mejora de la sinergia co-robot y usuario es ampliamente explorada con distintas funciones de relación debido a que es una de las claves del éxito de la aplicabilidad del co-robot. (Duchaine et al., 2008) presentó en su trabajo, un innovador sistema de estabilización de las acciones de un robot colaborativo a las acciones del usuario aplicando la función Lyapunov para optimizar la curva de los parámetros de impedancia.

Si bien el sector de la ingeniería y construcción se interesó por un operario con capacidades de fuerza y resistencia mejoradas otro sector, muchas veces motor de la Investigación, se interesó por este concepto. La búsqueda de un “soldado del futuro” ha variado de forma dramática desde los años 80 del siglo pasado hasta los que tenemos hoy en día. Pero siempre, la industria militar, se ha visto tentada por un soldado más “fuerte y resistente”. Estas investigaciones, han sido siempre secretos de las distintas naciones que solo ven la luz conforme los trabajos, o bien quedan obsoletos, o bien se desclasifican. En sus trabajos (KAZEROONI, 2007) (Kazerooni, 2008) realiza una revisión de las investigaciones realizadas en el campo de la *Human Augmentation* en relación con la integración hombre - robot vestibles con la idea de ofrecer exoesqueletos que dotaran de mayores capacidades a soldados. Piernas mejoradas para ofrecer aumentar la capacidad de marcha o sistemas de control de armas pesadas se engloban dentro del *Human Power*. Hoy en día las investigaciones con fines militares siguen siendo un motor de la I+D+i en el área de *Human Augmentation*, pero estas están más centradas en ofrecer información ampliada del campo de batalla, así como integración rápida con UAVs u otro equipamiento de campaña.

Una de las primeras cuestiones con la que se enfrenta un investigador de *Human Augmentation* es la relación que existe entre este campo y el de *Human Enhancement*. Tal y como nos presenta (Bostrom. N, 2008) en su trabajo, el principal objetivo del *Human Enhancement* es la mejora del cuerpo del ser humano en sí mismo, y por medio de este cambio mejorar sus capacidades. Conceptualmente la diferencia es muy relevante pues esta última implica modificar de alguna manera el cuerpo del ser humano. Este concepto, que en una primera

idea puede parecer sacado de la ciencia ficción, está cada día más cerca de volverse una realidad. Solo debemos compararlo con la acción de “*copy&paste*” existente hoy en día en cualquier aplicación, esta acción fue una revolución en el modo de trabajo de las personas tal y como expuso Dohery en 1986. La mejora del cuerpo humano podría ser una realidad en los próximos 20 años. Lo que actualmente sí es una realidad es ayudar a personas mediante la sustitución de “elementos” de su cuerpo. Estas acciones no buscan mejorar las funciones del cuerpo humano, sino corregir algún mal funcionamiento.

La relación entre los campos de investigación *Human Enhancement* y *Human Augmentation* la plasmamos en la figura 8 donde representamos con una línea continua distintas actuaciones. Así, en cada extremo situamos uno de los campos de investigación y entre ellas situamos distintos tipos de tecnologías en función de la relación que guardan con dichos campos. Esto es debido a que tecnología como la realidad virtual o realidad mixta están claramente situadas en el lado de *Human Augmentation*, pero un implante coclear que corrige la disfunción auditiva de un paciente está ya próxima al concepto de *Human Enhancement* cuando estos dispositivos puedan mejorar incluso la manera en la que percibimos el sonido.

### 2.1.1 La definición de *Human Augmentation* y sus clasificaciones

Si bien, como hemos introducido, este área de investigación lleva presente en la ciencia bastante años, aún hoy, no hay un consenso en la ciencia para una definición adecuada que satisfaga a los distintos investigadores (Garcia et al., 2008). Es probable que, al tratarse de un concepto abierto a interpretaciones los matices que cada investigador ofrece ha motivado esta ausencia de definición. Aunque no existe consenso, hoy en día podemos encontrar algunas definiciones ofrecidas por investigadores. La primera aquí expuesta es ofrecida por (Raisamo et al., 2019), en su trabajo, el autor propone la siguiente definición: “*an interdisciplinary field that addresses methods, technologies and their applications for enhancing sensing, action and/or cognitive abilities of a human. This is achieved through sensing and actuation technologies,*

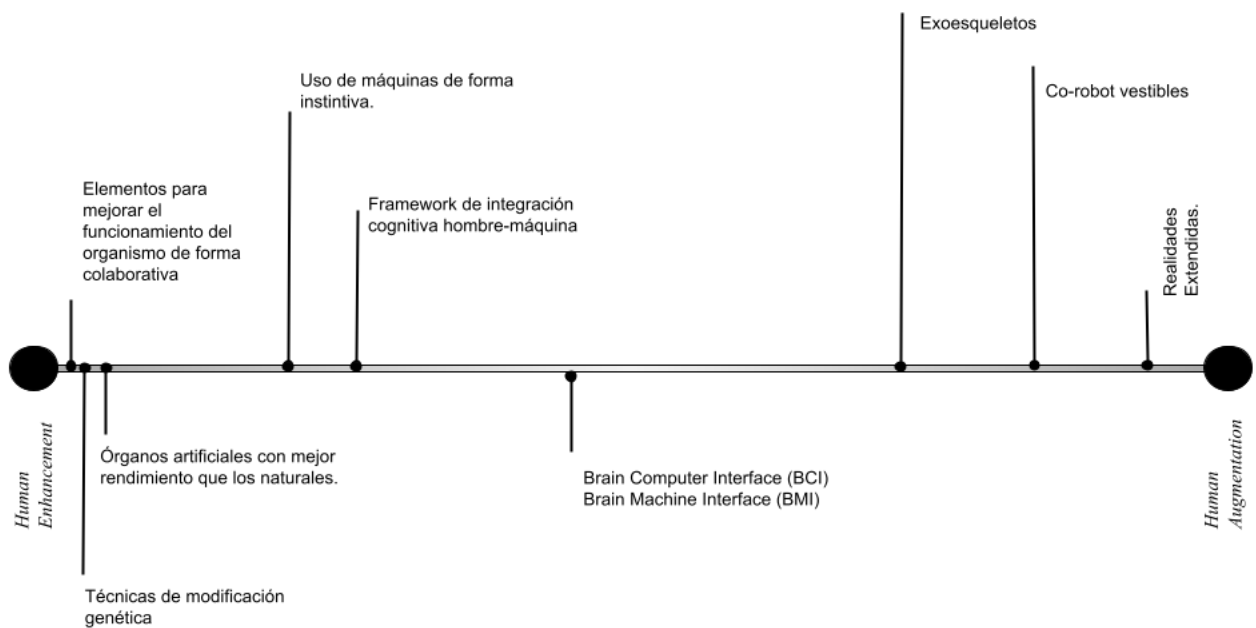


Figure 8: Distribución gráfica de las distintas tecnologías de *Human Enhancement* y *Human Augmentation* en función de la pertenencia de esta tecnología a cada campo

Fuente: Elaboración propia

*fusion and fission of information, and Artificial Intelligence (AI) methods*". Un análisis de esta definición ofrece diversos conceptos interesantes. Por un lado, el autor nos indica que es un campo "interdisciplinario". Ya no solo por tratar a investigadores tanto de la mecatrónica, como electrónicos o de ciencias de la computación, sino que también interviene investigadores de campos médico y bioquímicos entre otros. Así mismo, esboza las 3 categorías que posteriormente propondrá. Estas categorías son las que mejoran la capacidad de percibir, actuar o comprender. Finalmente, acaba con el uso de la inteligencia artificial como vehículo de integración entre los restantes elementos. No olvidemos que los co-robot, realidades extendidas, *wearable* y otros elementos de *Human Augmentation* son una realidad gracias a la aplicación de la IA para implementarlos.

Podemos encontrar en la literatura científica otra definición de interés, una de ellas es la propuesta por (Li, 2021), donde la define como "*methods with which human beings can obtain abilities exceeding the normal level or can compensate for abilities impairments*". Esta definición está mucho más cerca de la definición tradicional. En su definición Li, añade a la definición tradicional, la capacidad de compensar deficiencias (*impairments*). De esta manera incluye en la definición de manera explícita aquellas técnicas, como los implantes cocleares, cuyo objetivo sea ayudar a las personas eliminando una disfunción presente en su organismo.

### 2.1.2 Clasificaciones de *Human Augmentation*

Si bien las definiciones nos ayudan a construir un marco conceptual, las clasificaciones son un elemento de agrupación de características que nos ayudan a describir y conocer un concepto. De la misma manera que encontramos diversidad de definiciones en la literatura científica podemos encontrar diversas clasificaciones de *Human Augmentation*. En 2013 (Tachi, 2013) realizó un estudio sobre *Human Augmentation*, realidad virtual y realidad aumentada. En dicho estudio resaltó, de forma adelantada a su tiempo, la importancia que dichas tecnologías tendrían en 2020 como elementos revolucionarios en distintos sectores de la economía. Además, Tachi propuso una clasificación de las tecnologías de *Human Augmentation* que está basada en que capacidades aumentadas. Estas son percepción, actuación e inteligencia, además añade la clasificación "espacio/tiempo". Esta última categoría es donde se agrupan la capacidad de realizar acciones de forma ubicua, algunos ejemplos son las labores de teleasistencia o teleoperación remota o programada. En (Raisamo et al., 2019) ofrece una clasificación similar a la anterior, pero en ella elimina la clasificación espacio/tiempo de Tachi y la agrupa en la capacidad de percepción. Así, Raisamo define las siguientes categorías:

- Percepción aumentada: Para aquellas tecnologías que mejoran o modifican la percepción que el usuario tiene del mundo. Un ejemplo sería el trabajo de (Kim et al., 2010), en su estudio desarrolla el prototipo de un *Head Mounted Devices* (HMD) para el aumento de

las capacidades de percepción del usuario. Su idea era la de ofrecer un sistema que reconociera el punto de atención del usuario, así podría detectar información como letras, contexto, y otra información del valor. Con ella, posteriormente, el HMD podría describir esta información, con lenguaje natural al usuario mediante un auricular. Este es un claro enfoque de percepción aumentada pues un sistema inteligente comprende el espacio que rodea al usuario, evalúa aquellos *inputs* que puedan ser de interés para el usuario y cambia el medio de transmisión para favorecer que el usuario sea consciente de la información.

- Acciones aumentadas: Engloba los trabajos de *Human Augmentation* cuyo fin es potenciar las capacidades de modificar el entorno del usuario (sus acciones). Un ejemplo de esta categoría sería el trabajo de (Kang et al., 2018) donde presenta el uso de un dispositivo de *Human Augmentation* para ayudar a caminar al usuario, para ello se propone el uso de actuadores fijados sobre la cadera del usuario que le ayudan en el modo en el que realiza el paso. Favoreciendo el equilibrio y reduciendo el esfuerzo del mismo. En la misma línea, investigadores han propuestos distintos co-robot para ayudar al tren inferior en su trabajo al caminar (Braun et al., 2019) (Bougrinat et al., 2019) (Gerez et al., 2020)
- Conocimiento o inteligencia aumentada: Corresponde a la clasificación menos avanzada hoy en día. Aquí se engloban las investigaciones cuyo fin sea aumentar la inteligencia o el conocimiento del usuario en su concepto más amplio. Si bien este objetivo representa aún un reto para la ciencia, investigadores están avanzando con sus trabajos en esta línea. En su estudio (Brun et al., 2017) presenta una propuesta que podría ser una base para una hipotética mejora de la memoria del usuario, así como un apoyo para limitar los sesgos mentales y mejorar razonamiento del usuario. Así mismo, (Niforatos et al., 2017) en su trabajo defiende la necesidad de crear una capa de abstracción para modelar el conocimiento y la información. Esta capa de abstracción sería el lenguaje de intercam-

bio que debería tener un hipotético conector de información entre un ser humano y una máquina que quieran compartir información con valor semántico. (Valeriani et al., 2019) en su revisión científica podemos encontrar una descripción del gran avance de las *Brain Computer Interfaces* (BCI) en la última década y como estas se han reorientado hacia ser una herramienta de apoyo al *Human Augmentation* cognitiva. Formula que “*In recent years, however, the scope of BCIs has been extended from assistive technologies to neuro-tools for human cognitive augmentation for everyone*”. Un caso más práctico encontramos el de (Penaloza et al., 2018) donde estudia el uso de *Brain Machine Interface* (BMI) para la interacción con *Supernumerary Robotic Limbs* (SRL) con el fin de aplicarlo en la detección y entrenamiento de pensamientos para el control del SRL en lugar de los algoritmos actuales de predicción de acción basado en el movimiento del usuario.

Otro enfoque para la clasificación de *Human Augmentation* la encontramos en la propuesta de (Li, 2021) aquí estipula una clasificación basada en el medio por el cual se realiza el aumento. Las clases serían:

- Aumento por medio de la medicina o estimulantes: En su trabajo, Li propone incluir en este apartado cualquier medicamento o estimulante que pueda mejorar las funciones primitivas del ser humano. Un ejemplo propuesto por el autor sería algo tan sencillo como los estimulantes que permite eliminar la sensación de cansancio.
- Aumento por medio de la genética: La ingeniería genética es una de las disciplinas más estudiadas en la actualidad pues todos los estudios científicos sugieren que será la llave de muchas soluciones para problemas y enfermedades en un futuro cercano. Alguna de estas modificaciones puede ir en la línea de ofrecer un sistema inmunológico mejor o la de poder prestar atención más tiempo. Funciones básicas del ser humano que podrían tener un gran impacto en las capacidades de los receptores de dichas modificaciones.
- Aumento por medio del uso mecánico: Representan las mejoras como las que hemos

vistos anteriormente o como la de (Perez et al., 2018) donde diseñó un co-robot para ayudar a un usuario a mejorar el rendimiento en sus tareas. Este co-robot ofrece un brazo con los mismos grados de libertad en el movimiento que el usuario, gracias a su uso se consigue una productividad superior.

- Aumento basado en la cirugía: Para aquellos aumentos para los que son necesarios intervenir al usuario en una operación de diferente calado. Un ejemplo común de esta clasificación serían los implantes cocleares que ayudan a los pacientes, con una deficiencia auditiva, a percibir sonidos.

### 2.1.3 Casos de uso de la *Human Augmentation*

El continuo avance de *Human Augmentation* ha venido siempre marcado por un fuerte carácter práctico y por la búsqueda de los investigadores de la confirmación empírica de sus trabajos.

#### ***Human Augmentation* en la medicina**

Dada la propia naturaleza del cuerpo humano, que en sí mismo es una máquina con defectos, pero eficiente, hace difícil para la ciencia, a día de hoy, buscar una forma “rápida” de mejorar las capacidades y el resultado de las acciones humanas. Esto cambia cuando es el cuerpo humano el que falla y la ciencia trata de buscar una solución por medio de la aplicación de las tecnologías. Es en la ayuda de las personas con diversas afecciones donde las distintas soluciones de *Human Augmentation* tuvieron su primera aportación a la sociedad. En su estudio (Vaughn et al., 2006) encabeza un informe de “*National Council on Disability*” donde anuncia la posibilidad de aplicar tecnologías de *Human Augmentation* para solventar situaciones cotidianas en personas con algún tipo de habilidad o capacidad disminuida. En su propuesta no habla de solucionar disfunciones, como por ejemplo sería el implantar un ojo artificial para ofrecer a un invidente la capacidad de ver, pero si un dispositivo que pueda reconocer, procesar y trasladar en voz un texto escrito.

El aumento de la percepción y la información que un usuario puede percibir del mundo representa una capacidad muy interesante en el campo de la medicina, pues tener información agregada en momentos puntuales del proceso médico puede resultar determinante en una intervención o en la evaluación de un paciente. (Shluzas et al., 2016) en su trabajo postula el uso de *Google Glasses* como una herramienta de realidad aumentada (RA) que proporciona una mejora en el resultado del trabajo del equipo de enfermería. En su propuesta, el equipo de enfermería disponía de información agregada del paciente durante el proceso de intervención del mismo. Además, contaban con alarmas, indicaciones y planes de trabajo. Shluzas también presenta el uso de estas gafas de RA como una herramienta de alto nivel a un equipo cirujano ya que ofrece el punto de vista (POV) del cirujano principal en las intervenciones. Es habitual que en una intervención el POV del cirujano sea clave y sus movimientos precisos y rápidos. Con estas gafas se conseguía, por un lado, ofrecer información al cirujano y por otro, grabar su punto de vista para permitir al equipo de cirujanos noveles o estudiantes aprender de primera mano del trabajo del experto.

### ***Human Augmentation* en la ingeniería**

El campo de aplicación de la ingeniería y la construcción representa la cuna de las investigaciones de *Human Augmentation*, la razón estriba en el impacto directo a la capacidad de optimizar la fabricación productos si su equipo humano es más productivo. Es decir, si por la aplicación de tecnología se eliminan limitaciones o barreras en sus tareas. Uno de los primeros trabajos de aplicación con el keyword "*Human Augmentation*" que encontramos en la literatura es el trabajo de (Ivanisevic et al., 2000). En su estudio, con el fin de ayudar a operadores en tareas no triviales, durante la manipulación de maquinaria pesada, propuso el uso de algoritmos para evitar obstáculos en la trayectoria de los actuadores de la maquinaria. Así el trabajo sesudo de idear una ruta óptima de la máquina quedaba simplificado para el trabajador. En este caso se aplicaron un algoritmo *Greedy* de predicción de movimientos en el espacio de



soluciones de la maquinaria para obtener el camino sin colisiones. La aplicación de su solución mejoró el ratio de accidentes así como disminuyendo el daño en la maquinaria de trabajo.

Esta idea de proporcionar co-robot a un equipo de trabajo para mejorar su rendimiento es aplicable en un gran número de distintos sectores, pero destaca en aquellos donde el coste de actuación es más alto por lo que añadir un nuevo co-robot no tiene un gran impacto en el coste global de la tarea. Así, la mejora de las capacidades de trabajo fueron aplicadas en acciones fuera de la tierra, en su trabajo (Akin et al., 2007) describe diferentes estrategias del uso de co-robot instalados junto al equipamiento de los astronautas lo que les permitió mejorar el resultado de las tareas de mantenimientos de telescopios en un 60% según indican las conclusiones de su estudio.

Volviendo a la ingeniería en la tierra, podemos encontrar otras aplicaciones de operarios con capacidades aumentadas en el trabajo de (Llorens et al., 2012) donde utiliza SRL como co-robot vestibles, estos poseen dos brazos artificiales ideados para ayudar al usuario en sus tareas de carga de mercancías, operaciones de mantenimiento, etc. En esta misma línea (Treers et al., 2017) propone un SRL para ofrecer al usuario dos piernas adicionales con el fin de ayudarle en algunas acciones específicas como sentarse o levantarse. En un estudio posterior, (Gonzalez et al., 2018) ofrece otro sistema de SRL con piernas adicionales para aumentar la capacidad de carga de un operario.

(Bright et al., 2017) en su tesis describe un nuevo tipo de SRL, en este caso de un único brazo extra, orientado a ayudar a los operarios en una industria que necesitan mantener objetos por encima de su cabeza mientras realizan algún tipo de operación de construcción o mantenimiento. Un ejemplo podría ser la reparación de un motor de un avión, aquí el SRL realizaría funciones colaborativas para mover las piezas del fuselaje mientras el operario realiza las actuaciones necesarias. Con la misma idea de ayudar a operarios en sus tareas que impliquen sostener equipamiento pesado por encima de su cabeza tenemos el trabajo de (Otten et al., 2018). En él busca apoyar los brazos del usuario mejorando sus capacidades y disminuyendo

su cansancio en lugar de ofrecer un tercer brazo. Una investigación diferente es la propuesta por (Hu et al., 2017) donde amplía el número de dedos de un usuario y analiza la productividad mejorada en tareas menos pesadas como es el uso de un teclado, dispositivos móviles o consola de interacción con maquinarias.

No todas las acciones en industria son para mejorar las capacidades físicas de los individuos, en los apartados de realidad virtual y mixta ahondaremos en estas aplicaciones de otras técnicas de *Human Augmentation*. Estas actuaciones estarán en la línea de ofrecer información agregada al usuario durante el proceso de ejecución de sus tareas. (Wentzel et al., 2015) define concepto de “*shared presence*” donde, mediante un dispositivo de RA (*Google Glasses*) comparte un punto de vista con un co-robot que le ayuda a realizar tareas y lo controla con comandos de voz o gestos con sus pies. Esta misma idea es explorada por (Simões et al., 2019) en su trabajo, aquí utiliza realidad mixta para superponer información al punto de vista del operario y mejorar el resultado de sus tareas gracias a esta información agregada de su trabajo.

### ***Human Augmentation* en la aplicación militar.**

Desde la flecha, a la rueda, pasando por la pólvora y el motor de compresión la aplicación militar de los avances de la ciencia han sido motores que han impulsado el conocimiento del ser humano. *Human Augmentation* no es un campo de la ciencia que haya escapado a este empuje de dudosa valía ética. La aplicación militar ha sufrido una transformación, en su origen se centró en la aplicación de dispositivos que mejorarán las capacidades físicas del soldado, como son: resistencia, fuerza, destrezas o precisión. Junto a estas características físicas se deseaba la posibilidad de portar mayor carga, recorrer más distancia en un día o poder realizar aparatosas tácticas con estas cualidades mejoradas. Estas ideas empujaron estudios como los de (Zoss et al., 2005) donde creó un exoesqueleto para el ejército norteamericano llamado Bleex. Fue necesario realizarlo junto al trabajo de (Ghan et al., 2005) para el diseño de un

algoritmo de control del exoesqueleto basado en el movimiento del usuario. Este algoritmo interpreta las acciones del usuario para determinar cómo actuar, por ejemplo, la elevación del talón para reconocer el inicio de la marcha. Este algoritmo fue mejorado en el trabajo de (Huang et al., 2015) para hacerlo adaptable a la velocidad del individuo. En esta misma línea de mejorar las capacidades motrices del soldado encontramos el trabajo de (Ste-Croix et al., 2012). En su estudio presenta un dispositivo llamado KSRD para distribuir el peso de un soldado mejor entre las piernas y así disminuir el esfuerzo y el cansancio. En este caso, el estudio fue evaluado en acciones de campo por parte del ejército canadiense.

#### **2.1.4 El discurso ético en la *Human Augmentation***

Como en todas las áreas de la ciencia con repercusión en la sociedad es importante realizar un estudio de lo acontecido para no caer en los mismos errores de los investigadores que nos precedieron. Y esto es debido a que, en algunos casos, tecnologías y co-robot de *Human Augmentation* pueden generar una diferencia social por crear colectivos con una u otra cualidad.

El propio proceso de investigación tiene unas connotaciones éticas y de responsabilidad de los investigadores con las personas que participaron en sus estudios. (McCullagh et al., 2013) propone un análisis interno en el proceso de las investigaciones en *Human Augmentation*. En concreto, en aquellas áreas que trabajen con integraciones o interfaces cerebrales debido a que los sujetos de prueba o de prototipos podrían sufrir daños o secuelas a medio-largo plazo. El autor solicita que exista un comité ético en *Human Augmentation* de la misma forma que en las investigaciones médicas.

Desde un punto de vista social, una futura aplicación exitosa de *Human Augmentation* de manera universal podría traer cuestiones éticas a tratar como:

- Diferencia a nivel de salud: las personas que pudieran acceder a mejoras genéticas o de modificación interna serían más saludables, menos propensas a enfermedades o más capaces

- Diferencia de acceso a la información: una futura hipotética integración entre la ingente información en Internet y el cerebro humano crearía una enorme diferencia intelectual entre estos dos colectivos. Los que tienen acceso inmediato a la información y los que no.
- Diferencias económicas: servicios como seguros de salud, hipotecas y otros servicios tradicionales podrían preferir siempre a personas aumentadas.

El resumen es que la sociedad podría dividirse en dos colectivos de seres humanos, los aumentados o aumentables y los que no pueden serlo o no pueden acceder a él. Si bien este concepto puede parecer ahora lejano o sacado de un libro de Isaac Asimov es una realidad que de forma paulatina iremos viviendo y sería necesario que las ciencias sociales avancen a la par que las tecnologías para evitar un futuro problema.

## 2.2 Realidades extendidas

Dentro de la *Human Augmentation* las realidades extendidas representan un tipo de actuación por el cual la percepción que el usuario dispone del mundo es modificada de diferentes maneras. Podemos analizar esta superposición como una hipotética función “f” expresada de la siguiente manera:

$$f(v, r) = \alpha * v \oplus \beta * r \quad (2.1)$$

Donde tenemos que:

- Variables: “v” y “r” presentan los estímulos del mundo virtual y real para un determinado sentido, por ejemplo, la vista.
- Coeficiente “α” y “β” determinan el grado de percepción que tenemos de cada uno de los mundos. Su rango de actuación es de [0 a 1]

- El operador “ $\oplus$ ” es un hipotético operador de combinación de las dos realidades por ejemplo la superposición de imágenes.

En la función “ $f$ ” para una inmersión virtual tendríamos a “ $\beta$ ” anulada a 0 y a “ $\alpha$ ” asignada a 1 para los sentidos de la vista y el oído. Una representación gráfica en el denominado “*virtual continuum*” fue postulado por (Milgram et al., 1994). Aquí introduce “*virtual continuum*” como la representación lineal que podemos ver en la figura 9, donde situamos las distintas tecnologías en función de lo cerca que están del mundo real, libre de elementos digitales o del virtual donde es perceptible información ficticia. Es decir, distintas posiciones en el virtual continuum tienen distintos valores para los coeficientes “ $\alpha$ ” y “ $\beta$ ”.

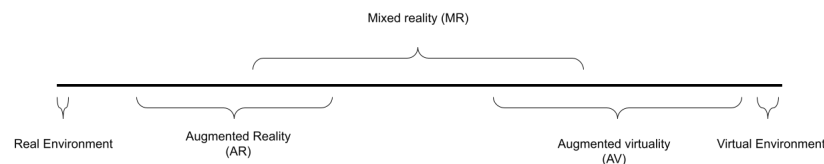


Figure 9: Representación de Virtual Continuum

Fuente: Elaboración de la aportación de Milgran y Kishino

Entre los dos extremos está un conjunto muy extenso de posibilidades. La realidad aumentada es la exposición de elementos digitales percibibles por el usuario dentro de su entorno real. Un ejemplo cotidiano es una aplicación de navegador de un dispositivo móvil. Dicha aplicación amplía la percepción que el usuario tiene de su entorno con las indicaciones de dirección que ofrece la aplicación. Por otro lado, si aumentamos la carga de elementos digitales a la par que vamos eliminando la percepción del usuario de su entorno real nos acercamos a la virtual aumentada, donde el enfoque es un espejo, es decir, información real ayuda en un entorno virtual. Por su lado, la realidad mixta ocupa una posición diferenciada ya que intenta ofrecer percepción digital 3D sin eliminar la percepción del entorno real del usuario.

Para el objeto de este estudio existen dos posiciones dentro del “*virtual continuum*” que resultan de interés. La primera de ellas es la realidad virtual, posicionada en el extremo derecho de la imagen, en el entorno virtual. Aquí todos los elementos percibidos por el usuario son digitales. El usuario debe percibirse a sí mismo inmerso en un entorno virtual. La segunda es

la realidad mixta, en ella los usuarios experimentan la visualización e interacción con elementos digitales mientras siguen percibiendo el mundo real con normalidad. En la realidad mixta los objetos digitales pueden interactuar entre ellos o con otros objetos del mundo real.

### 2.2.1 Realidad virtual

Presentada por primera vez en los años 70s del pasado siglo por Myron W. Krueger en un inicio recibió el nombre de “*artificial reality*”. Aunque su nombre cambió, el objetivo siempre fue introducir al usuario en un entorno con información virtual. Aunque esta misma aseveración “introducir al usuario en un entorno con información virtual” ha cambiado con la tecnología. En los primeros trabajos que podemos encontrar, la situación por medio de la cual, un usuario interactúa con un avatar por un entorno virtual representado en un monitor ya era una experiencia de realidad virtual, como fue el caso de (Gardner et al., 1996). Hoy en día avanzamos hacia el concepto de “inmersión virtual” es decir, no solo introducimos a un usuario en un mundo virtual, sino que le intentamos privar de los estímulos procedentes del mundo real. Con esto, el concepto de realidad virtual ha evolucionado con los adelantos tecnológicos. Teniendo esto en cuenta, la propia definición de la realidad virtual ha encontrado variantes y modificaciones conforme la tecnología ha avanzado. En su trabajo (Gigante, 1993) nos propone una definición de realidad virtual que podría ser válida hoy en día. Esta es: “...*the illusion of participation in a synthetic environment rather than external observation of such an environment. VR relies on three-dimensional (3D), stereoscopic, head-tracked displays, hand/body tracking and binaural sound. VR is an immersive, multisensory experience...*”. En su definición, Gigante indica que debe haber un entorno virtual 3D, el punto de vista de dicho entorno tiene que cambiar con el movimiento de la cabeza del usuario (*head-tracked*), incluye la posibilidad de seguir al cuerpo y/o las manos y requiere una inmersión auditiva (multisensorial). Si descomponemos las capacidades de un dispositivo de realidad virtual moderno como las Oculus Quest o las HTC Vive encontraremos estas mismas capacidades. Esta opinión de idoneidad de la definición acuñada

por Gigante no es un estándar y la comunidad científica aún está en proceso de ofrecer una definición avalada. (Kardong-Edgren et al., 2019) realiza un análisis sobre las investigaciones realizadas en realidad virtual, sus conclusiones arrojan la necesidad de consensuar un término que, a día de hoy, cumpla con la variedad de aplicaciones y variedad de investigaciones realizadas en torno a este concepto.

Actualmente, potenciado por los nuevos dispositivos que ya sí ofrecen una inmersión virtual completa, vivimos un repunte de las publicaciones que si bien se había ralentizado en los años [2005 a 2015] ha vuelto a resurgir con fuerza. La figura 11 también nos muestra una caída en el último año. Esto puede deberse al auge de otros sistemas como la realidad mixta. Otra explicación podría venir del análisis de la figura 10 donde se muestran las publicaciones científicas desde 1970 al 2020 en el campo de las ciencias de la computación. En esta gráfica encontramos un decremento en las publicaciones que no se había dado en toda la historia de las ciencias de la computación. La causa más probable es que haya sido la crisis del COVID-19 que ha ralentizado las publicaciones científicas. Esta ralentización ha afectado de una manera similar a las ciencias de la computación y las de realidad virtual.

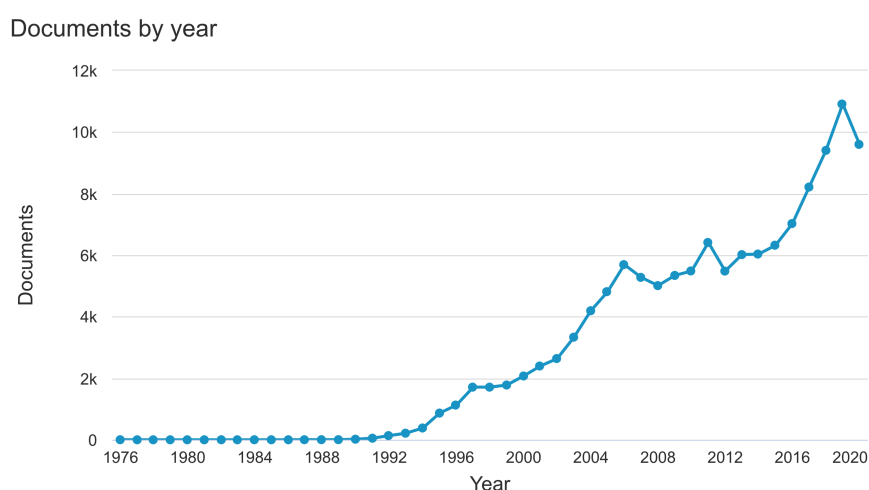


Figure 10: Gráfica de las publicaciones científicas con la palabra clave “virtual reality” en el título, abstract o palabras clave

Fuente: Scopus

Es fácil pensar en el importante volumen de casos de uso que la realidad virtual ha tenido a lo largo de su aplicación en los distintos campos de la sociedad. Por ejemplo, en medic-

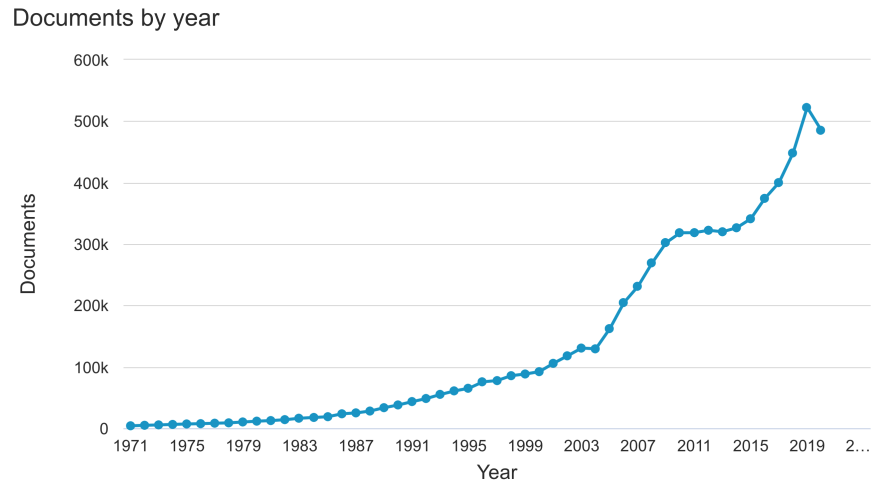


Figure 11: Gráfica de las publicaciones científicas desde 1970 en el campo de las ciencias de la computación

Fuente: Scopus

ina (Quigley et al., 2019) realizó un estudio donde utilizó la realidad virtual como un instrumento para ayudar a pacientes en tratamientos de pérdida de peso a lograr sus objetivos y así poder tener una vida más saludable.

De entre todos los campos de actuación de la realidad virtual, en nuestro estudio nos interesan dos principalmente, la educación y la ingeniería o la industria. Y más aún, aquellos proyectos de formación o entrenamiento en la industria o ingeniería.

### Realidad virtual aplicada a la educación

La aplicación de la realidad virtual al mundo de la educación ha sido siempre uno de los principales focos de actuación. Esto es debido a que la realidad virtual tiene una aplicación directa en el mundo del entretenimiento y los videojuegos ya que cuando se comenzaron los estudios en realidad virtual, tenía como principales usuarios niños o jóvenes. Así, los investigadores decidieron utilizar el reclamo de la realidad virtual que para los niños y jóvenes les evocaba a tecnología y novedad para acercarlos a los nuevos medios de educación. Posteriormente, trabajos como los de (Lee et al., 2010) (Bouali et al., 2019) (Greenwald et al., 2017) han demostrado el valor pedagógico de la realidad virtual.

Hubo que esperar a que los dispositivos de los usuarios poseyeran un mínimo de capaci-



dad de cómputo para ver el crecimiento de este tipo de actividades de investigación, donde se proponía el uso de la realidad virtual en la educación. (Sulbaran et al., 2000) presenta un proyecto denominado *Distributed Virtual Reality*, en el ofrece un sistema de realidad virtual en redes de computadores, el medio de salida es un pc tradicional, monitor, teclado y ratón. Lo aplicó para enseñar diversas materias básicas de ingeniería. El resultado con los estudiantes fue bueno en retención y atracción del alumno hacia el tema en cuestión. (Diplas et al., 2000) también utiliza *Virtual Reality Language Model (VRLM)* para ofrecer un sistema de educación en una realidad virtual. En este caso es un mundo virtual sobre una pantalla de ordenador. Si bien representa un intento de aplicar realidad virtual, esta no es inmersiva debido a que el usuario utiliza un ordenador estándar. Este mismo año (Smith et al., 2000) propone el uso pantallas y ordenadores tradicionales muy cerca de los usuarios para ofrecer una pseudo realidad virtual. Esto lo conseguían gracias a que, al estar muy cerca el monitor del niño, la experiencia saturaba los sentidos y lograba un efecto parecido a la inmersión virtual. Así, en su trabajo, Smith no busca ofrecer un modelo de aplicación a la comunidad científica sino la realización de una prueba de concepto original. No es el caso de (Kaufmann et al., 2000) donde, a diferencia que otros investigadores, en su trabajo propone el uso de dispositivos de realidad virtual como co-robot, en este caso *Head Mounted Devices (HMD)*, así como una herramienta para interactuar con los objetos 3D. Su objetivo era crear una herramienta para enseñar diseño 3D que pudiera ayudar a comprender conceptos de geometría y así ayudará a entender la materia de diseño de la construcción de edificios. En sus conclusiones recalcan que, si bien existían problemas con la opacidad de los objetivos 3D y su dificultad para distinguirlos en determinadas ocasiones, el principal problema fue la precisión. Esta ausencia de precisión hacía que, comparado con un diseño sobre herramientas tradicionales, el error del diseño en realidad virtual fuera inasumible. Kaufmann et al. fueron unos adelantados a su tiempo intentando llevar el *Human Augmentation* a la ingeniería de construcción de edificaciones, pero en este caso la tecnología aún no estaba madura.

Durante mucho tiempo los trabajos de realidad virtual se han visto entremezclados con el auge del 3D, sistemas como “*Second Life*” que ofrecían mundos virtuales coparon el concepto de realidad virtual ya que la tecnología durante mucho tiempo no permitió una realidad virtual más cercana al concepto de hoy en día. Estudios de investigación como el de (Hew et al., 2008) ofrece una revisión del estado del arte en materia de realidad virtual aplicada a la educación donde los trabajos son mundos virtuales o otros modos de simulación de vida.

Con el avance de la tecnología los primeros casos de aplicación de sistemas de inmersión virtual van surgiendo, un caso es el de (Civelek et al., 2014) donde realiza un estudio con 215 alumnos divididos en dos grupos (control y test) para analizar el resultado de utilizar dispositivos de realidad virtual básicos en la explicación de la teoría gravitacionales. Sus resultados arrojan un efecto positivo en los alumnos con los nuevos dispositivos con respecto al grupo de control. Este resultado es constante en los estudios de realidad virtual aplicada a la educación.

Hoy en día es fácil encontrar en la literatura científica trabajos recientes de diferentes estrategias de aplicación de la realidad virtual. Estas aplicaciones van a todos los niveles educativos, desde los más jóvenes hasta niveles universitarios. Centrando los artículos de investigación en ser capaces de medir el impacto de la aplicación en los conocimientos de los alumnos o la razón por la que se mejoran dichos resultados. Uno de los factores que se cree que impacta en el resultado es la facilidad de motivar a los alumnos. Otro autor, (Al-Gindy et al., 2020) estudió este mismo efecto. Su estrategia fue intentar corregir dos males de la educación: la desidia y la opinión generalizada de que ciertos temas no tienen impacto en su vida diaria. Sus resultados ofrecieron como conclusión que la realidad virtual había ayudado a mejorar la conexión entre la materia y los alumnos de manera que la retención que estos tenían sobre la materia también se mejoró.

(Oyelere et al., 2020) en su revisión bibliográfica de la realidad virtual y aumentada aplicada a la formación y educación evalúa trabajos científicos entre 2010 y 2018, la conclusión de su estudio es un crecimiento de las aplicaciones motivadas por los resultados de trabajos anteriores.

La comparación de los resultados se ha realizado tanto con la educación más tradicional donde usaron libros o ejercicios con otras algo más actuales con vídeos o sistemas multimedia. (Porter et al., 2020) estudió este fenómeno aplicando la realidad virtual a estudiantes universitarios de alto nivel, donde el grupo control se formaba mediante educación tradicional, junto a vídeos u otros materiales multimedia. El grupo a evaluar utilizaba realidad virtual como herramienta complementaria a su formación. Los resultados determinaron que el uso de la realidad virtual como complemento a la formación tenía un impacto positivo en las notas de los alumnos.

La realidad virtual añade otro componente muy importante en la educación y es la capacidad de realizar experiencias formativas colaborativas de una forma completamente novedosa. (Du et al., 2020) en su trabajo no solo analiza la realidad virtual como elemento de formación, sino que analiza dos tipos de experiencias virtuales. En una de ellas los alumnos están solos en la ejecución del aprendizaje. En la otra, los alumnos participan en grupos para realizar esta experiencia formativa en realidad virtual. Sus conclusiones fueron que los usuarios que participaron en el estudio con realidad virtual obtuvieron mejores calificaciones que alumnos que usaron medios tradicionales, pero no se llegaron a medir los resultados entre el grupo que se formó en solitario con los que realizaron formación en grupo.

El nivel de madurez de la tecnología es ya suficientemente avanzado como para que investigadores hayan realizado las primeras pruebas en educación generalizada. (An et al., 2020) en su trabajo analiza la aplicación de la realidad virtual en la educación en Corea. Sus conclusiones son:

- Las experiencias de realidad virtual que usan dispositivos sobre la cabeza (HMD) pueden ocasionar problemas a los niños ya que su peso, aunque no muy elevado en cuerpos inmaduros como el de los niños, durante un tiempo prolongado podrían ocasionar efectos secundarios que deben ser evaluados.
- Como cualquier medio de distribución de contenidos, la realidad virtual es completamente

dependiente de la cantidad y calidad de los contenidos formativos. Que, según el autor, aún son insuficientes.

- Otra alarma que ofrece An es que, al ser los HMD modernos dispositivos de consumo de contenidos conectados a Internet deben existir mecanismos de control para que se nos permita proteger a los más pequeños de contenido inadecuado.

Hoy en día podemos encontrar una gran variedad de aplicaciones de realidad virtual a la educación con diferentes características novedosas, (Motejlek et al., 2019) en su artículo propone 7 características para crear una taxonomía de realidad virtual aplicada a formación. Estas son: "*Purpose, Experience, Production Technology, Delivery Technology, Gamification, User Interaction, System Interaction*" De esta forma nos ayudará a clasificar categorizar y comparar estudios y resultados.

### **Realidad virtual aplicada a la Ingeniería**

La ingeniería es otro de los campos de aplicación más relevantes de la realidad virtual, según Scopus el 21.8% de los estudios de realidad virtual están en este campo de actuación, solo por detrás de ciencias de la computación. Con motivo de este trabajo las investigaciones se han centrado en la aplicación de realidad virtual al campo del entrenamiento, y en particular, del aprendizaje de conceptos de prevención de riesgos laborales (PRL).

Las aplicaciones de realidad virtual para PRL son enormemente variadas ya que cada trabajo requiere sus propias formaciones y métodos de formación. Por ejemplo, un operario de la construcción debe tener en cuenta, sobre todo, los riesgos por caídas, atropellos y desprendimientos. Por otro lado, un trabajador de plantas industriales debe conocer muy bien los mecanismos de parada de emergencia de sus instalaciones y los radios de acción de sus maquinarias. Así (Bin et al., 2019) en su trabajo propone unas experiencias virtuales para entrenar prevención de riesgos laborales a operarios de la construcción. Estas experiencias son

un entrenamiento con 3 escenas: construcción de una carretera, construcción de un puente y construcción de un túnel. Para reforzar la sensación de inmersión virtual y ayudar al usuario a familiarizarse con las situaciones reales, se utilizan un sistema de vibraciones que, junto a gafas y casco introducen al usuario en una realidad virtual inmersiva.

Uno de los puntos más comunes que la industria tiene es la prevención de incendios. Es decir, formar a sus trabajadores para prevenir los incendios, o evitar daños más graves cuando un incendio se desata. En su trabajo (H., 2020) aplicó la realidad virtual para formar a los operarios en el uso de los extintores de incendios. Con una idea semejante (Pitana et al., 2020) estudio aplicar realidad virtual como parte del proceso formativo de los inspectores de equipamiento antiincendios. Su objetivo fue ayudarles a realizar mejores y más rápidas inspecciones del equipamiento antiincendios en las plantas a las que acudirán los alumnos en su futuro desempeño.

En algunos tipos de industrias pueden existir vapores o gases nocivos que pueden representar un peligro invisible para sus trabajadores. Este hecho ha sido otro campo de aplicación de la realidad virtual. Así como cualquier trabajo que por su naturaleza entrañe un riesgo para el trabajo como la minería o la construcción. Algunos ejemplos de estos trabajos son:

- El proceso de limpiado y mantenimiento de las cubas y maquinarias en una planta de tratamiento de aceites industriales fue el campo de aplicación de (Wan et al., 2020) donde utilizó la realidad virtual para que los operarios aprendieran PRL antes de iniciar sus actividades de limpieza.
- Fabricación de hormigón en plantas donde los trabajadores deben tener un profundo conocimiento de PRL. (Joshi et al., 2021) en su trabajo introdujo la realidad virtual como una herramienta que ayudaba a la formación para la seguridad de los trabajadores. En su caso el resultado no solo fue la mejora en PRL, sino que estas acciones repercutieron en la opinión que los trabajadores tenían sobre la empresa lo que implicó un aumento de

fidelización y productividad.

- Minería del carbón en espacios confinados. En su trabajo (Li et al., 2020) utilizó un sofisticado sistema de nube de computación, herramientas de realidad virtual para ofrecer un entorno de seguridad para el entrenamiento de nuevos mineros.

Al igual que con la educación, diversos autores han analizado la aplicación de la realidad virtual en la industria, ingeniería y construcción a un nivel más general. (Delgado et al., 2020) realiza un exhaustivo estudio de la literatura científica sobre realidad aumentada y realidad virtual aplicada a la ingeniería y la construcción. Entre sus resultados destacan dos:

1. El nivel actual de aplicación de esta tecnología en el sector es bajo.
2. Delgado selecciona 6 casos de uso de valor donde se podrían aplicar esta tecnología para resolver problemas de la industria. El autor presenta estos casos de uso como: *“stakeholder engagement, design support, design review, construction support, operations and maintenance support, and training”*. De entre ellos, dado el objetivo de esta tesis reseñamos *“training”*.

Otro trabajo de análisis detallado de la aplicación de realidad virtual es el de (Raisamo et al., 2019). En él se evalúa el impacto y la aplicación de la realidad virtual y realidad mixta en ingeniería, construcción y diseño. Entre los retos más importantes que Raisamo ofrece en su estudio destacamos: *“It is becoming better, smaller, and cheaper along the way”*. Es decir, actualmente existe un reto para la aplicación generalizada de las realidades extendidas a la ingeniería que es la búsqueda de modos de abaratar costos de la implantación de la tecnología.

### 2.2.2 Realidad mixta

Dentro del *virtual continuum* que propusieron Milgran y Kishino encontramos otra posición de gran interés en la actualidad. La realidad mixta (RM), también denominada realidad cruzada

(XR) en algunos artículos. La realidad mixta es la fusión de las dos realidades (virtual y real) es por esto por lo que Migran y Kishino en su trabajo no le dan un punto en la línea sino un rango de actuación. La realidad mixta vive hoy en día un problema de definición semejante al que la realidad virtual vivió en su origen, agravado por el hecho de ser una realidad que surge de la combinación de dos realidades cuya definición, la ciencia no tiene bien establecidas. Si bien Milgran y Kishino ofreció en su presentación de *virtual continuum* una definición de la realidad mixta como: “*a mix of real and virtual objects within a single display*” Esta definición está fuertemente relacionada a la capacidad visual y nos presenta una dificultad para adecuarla con acciones de realidad mixta presentes en la actualidad.

Por su lado, (Speicher et al., 2019) nos presenta un estudio para proponer un consenso sobre las realidades más utilizadas: virtual, aumentada y mixta. Para buscar una definición Speicher entrevista a distintas personalidades de la academia y empresa. Mediante cuestionarios busca los límites de cada una de las tecnologías para así poder definir las. En sus conclusiones determina que: (1) La realidad mixta a veces es mal denominada realidad aumentada, y (2) parece existir una idea común que la realidad mixta debe ser una realidad aumentada con mayor nivel de inmersión virtual. Otra estrategia de descripción de la realidad mixta es ver la realidad mixta como una integración de la realidad virtual y la realidad aumentada, este es el caso propuesto por (Tepper et al., 2017) en su trabajo, donde define la realidad mixta como: “*mixed reality merges many of the benefits of virtual reality and augmented reality*”. Es decir, ofrecen las capacidades de un mundo virtual, donde todo lo que ocurre está controlado por un software, junto con la idea de la realidad aumentada que es detectar el entorno del usuario para disponer sobre él elementos digitales

La realidad mixta es la intención de traer mundos virtuales a nuestro entorno real y hacer que estos se vean como parte del mismo. Es decir, en un mundo virtual el usuario tiene la capacidad de ver herramientas digitales (ficticias) que al interactuar con ellas modifican el mundo virtual. Al llevar este concepto a la realidad mixta el usuario debe poder interactuar con esas herramientas

ficticias, al igual que con las reales, y su entorno (digital y real) se debe modificar de acuerdo a sus acciones. Con esto presente, la realidad mixta debe tener los siguientes requerimientos:

- El usuario debe tener la capacidad de observar e interactuar con el mundo real: es decir el usuario nunca deja de percibir el mundo real y debe poder interactuar con él.
- El usuario debe tener la capacidad de observar e interactuar con los objetos virtuales: el usuario podrá observar los objetos digitales e interactuar con ellos sin perder de referencia el mundo real.
- El sistema debe tener la capacidad de interacción entre los objetos ficticios y los reales: es decir, acciones de objetos reales pueden provocar acciones de objetos ficticios. E incluso, en algunos casos donde la tecnología lo permita, acciones de los objetos digitales pueden provocar acciones en los objetos reales. Ejemplos de estos casos sería: para el primero, la percepción de una cadena de montaje en movimiento debería mover los objetos digitales apoyados sobre la cadena de montaje. Un ejemplo del segundo tipo sería una consola digital de interacción con una máquina real. Dicha consola enviaría los comandos directamente a los controladores reales de la maquinaria.

Si pensamos en una aplicación de realidad aumentada clásica, como puede ser la asistencia que cualquier aplicación de rutas de un coche nos ofrece como Google Maps o Waze. Cuando la aplicación nos aporta información de la ruta que debemos seguir, esta información es una información agregada al mundo, ni interactúa con el mundo ni viceversa. Esto es claramente un ejemplo de realidad aumentada. Una aplicación de realidad mixta fuerza la conexión entre digital y real de forma que, en un caso límite, el usuario no necesitará distinguir los objetos reales de los virtuales. Por ejemplo, un operario que porta unas gafas de realidad mixta que, al llegar a su puesto de trabajo, la maquinaria, como cadenas de fabricación o robots, se comunicarán con las gafas ofreciendo información y cuadros de operaciones, y el usuario podría interactuar con estos cuadros de operaciones como si fuera igual que interactuar con



los mandos de la propia maquinaria. Así tendríamos un caso tipo de aplicación de realidad mixta.

(Rokhsaritalemi et al., 2020) en sus conclusiones resalta la gran capacidad de la realidad mixta de poder llevar la información digital a donde queramos, no solo lugar sino a modo de exposición de dicha información, es decir, cualquier operario con su móvil o tablet podría acceder a la información técnica cuando necesitara para consultar información. Ahora bien, hacerlo en el mismo momento que está realizando una tarea sin dejar de prestar atención a su trabajo es una capacidad que sin duda mejora la productividad de cualquier operario. Esta idea ha habilitado un importante número de trabajos de aplicación en la industria.

Muchos investigadores que aparecen en la literatura científica buscaban ese grado de integración en realidad aumentada con dispositivos móviles o tablet. Con la aparición de la primera gafa comercial de realidad mixta, estos investigadores han explorado una manera de eliminar barreras o limitaciones que sus antiguos trabajos de realidad aumentada tenían. Así es que la comunidad científica se ha volcado con la búsqueda de aplicaciones de esta nueva realidad. En la figura 12 podemos observar el rápido crecimiento de las publicaciones científicas en realidad mixta desde el 2015.



Figure 12: Consulta TITLE-ABS-KEY ("mixed reality")

Fuente: Scopus

Este rápido crecimiento puede deberse al anuncio de los nuevos dispositivos de realidad

mixta como HoloLens, las cuales fueron presentadas en 2015 y puestas a la venta el 30 de Marzo de 2016 por Microsoft. Este anuncio fue muy significativo ya que ofrecían el primer dispositivo de realidad mixta abierto al consumo particular por un precio contenido. En su arranque, las HoloLens costaron 3000\$, hoy en día su precio ha subido a 3.800 €, lo que permite aún una aplicabilidad adecuada en los casos de uso industriales.

Del análisis de las publicaciones científicas sobre realidad mixta observamos que el número en 2020 ha sido de 945. Una comparación rápida con las publicaciones de realidad virtual representado en la figura 13 nos muestra que existe una diferencia muy importante entre la relevancia de la realidad virtual y la realidad mixta. Esto puede deberse a que las comparaciones se están realizando en dos momentos muy distintos del nivel de madurez de una tecnología. En el caso de la realidad virtual, consta de un bagaje de más de 30 años donde hoy en día vive su segunda madurez, mientras que, en el caso de la realidad mixta, estamos asistiendo a sus primeros pasos en la comunidad científica y como esta nueva tecnología coge fuerza.

### Mixed reality y Virtual reality

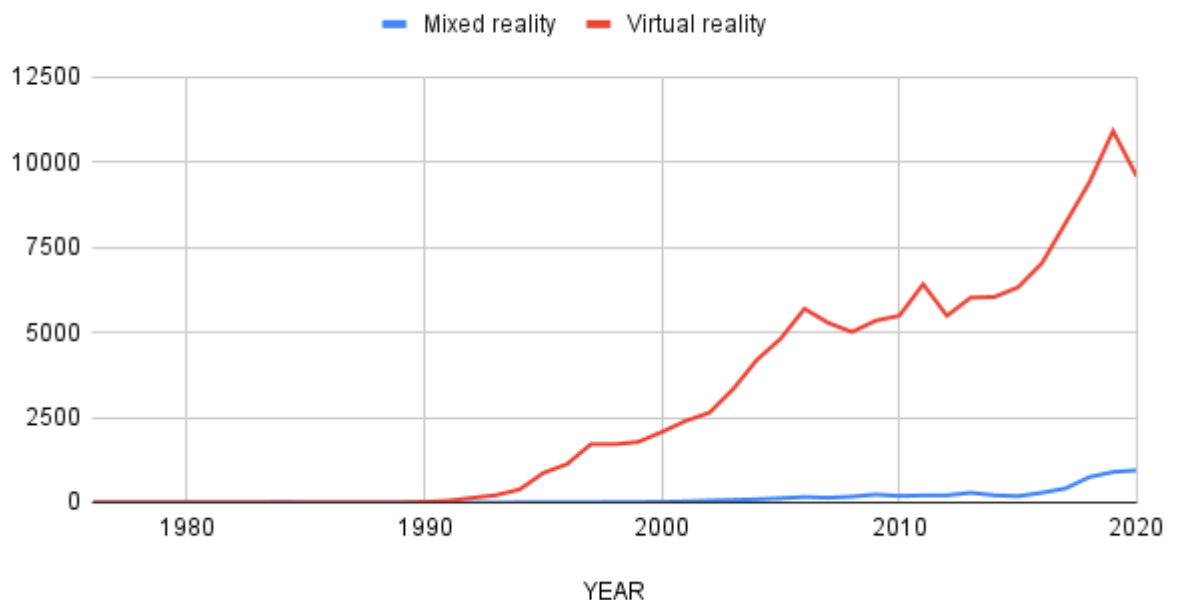


Figure 13: Gráfica comparativa sobre el número de publicaciones entre realidad virtual y mixta.  
Fuente: Scopus

Para dar un valor objetivo al crecimiento de la realidad mixta podemos comparar el crec-

imiento de las publicaciones de cada una de las temáticas que han tenido cada año con respecto al año anterior. Es decir:

$$\Delta\text{crecimiento} = \frac{\text{Número de aplicaciones del año actual}}{\text{Número de aplicaciones del año anterior}} \quad (2.2)$$

Al comparar este factor de crecimiento en la figura 14 podemos observar cómo desde el 2015 el crecimiento del interés de la comunidad científica por esta nueva tecnología continúa día a día, incluso por encima de la realidad virtual.

### Crecimiento VR y Crecimiento MR

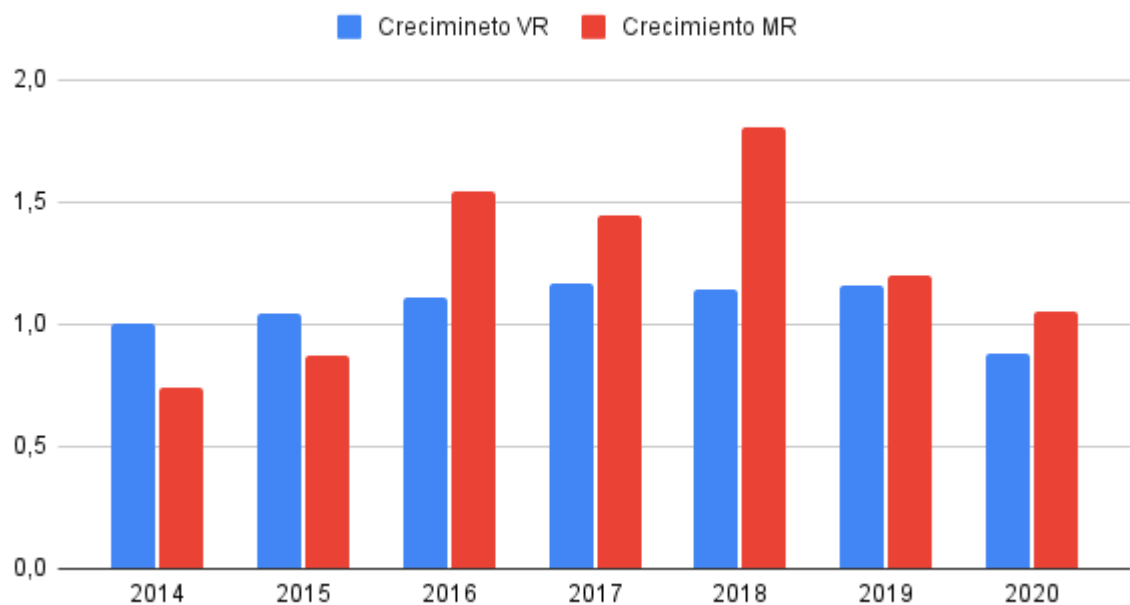


Figure 14: Comparativa de crecimiento de publicaciones por temáticas  
Fuente: Elaboración propia

Los investigadores a lo largo del mundo están buscando nuevas formas de aplicar la realidad mixta a sus casos de uso para tratar de ofrecer nuevas soluciones y herramientas a la sociedad, (Rojo et al., 2021) en su trabajo postula la posibilidad de aplicar realidad mixta a la forma de entrenar al personal sanitario para mejorar el rendimiento en tareas habituales en su trabajo, como son aplicar puntos de sutura o costura de tejidos. Aunque aún sea una tecnología joven existen multitud de trabajos en realidad mixta que podemos encontrar en la

literatura científica. De esta forma, al igual que hicimos en la sección anterior sobre realidad virtual, en este estudio vamos a centrar el análisis en aquellos trabajos que implican la educación, la ingeniería, la industria o la construcción. Pondremos una especial atención a aquellos trabajos cuyo objetivo sea la mejora de la formación en prevención de riesgos laborales.

### **Realidad mixta aplicada a la educación**

La educación y la formación son siempre campos cercanos a la investigación, siendo esto así suelen ser receptores en primera instancia de las tecnologías. Con el uso de realidad mixta podemos plantear lecciones y prácticas a todos los niveles de maneras nunca vistas. Las posibilidades son ingentes, desde ofrecer información teórica sobre la ejecución de una práctica en laboratorio, o un caso inverso que sería el de crear un laboratorio virtual durante la ejecución de una clase teórica para reforzar la lección. Otra posibilidad podría ser realizar simulaciones de prácticas en laboratorio antes de utilizar la maquinaria real, así se podría tener un punto de control antes de introducir a los alumnos en el uso de herramientas reales. En el trabajo de (Lang et al., 2019) resalta el valor de la realidad mixta. Esto es debido a que el autor postula que exponer información digital junto al entorno real en una experiencia inmersiva será clave para la educación y el entrenamiento industrial. (Czarski et al., 2020) en la misma línea añade que esta información agregada digital durante la ejecución de formaciones o procesos de entrenamiento enriquece notablemente la experiencia formativa y, por ende, la calidad de la enseñanza que el alumno extrae de ella. Está idea de revolución en los procesos de enseñanza y educación la comparte y expone (Kounlaxay et al., 2020) en su estudio. En dicho trabajo recalca que la aplicación de realidad virtual y realidad mixta de forma general en la educación, enseñanza y formación ofrece una oportunidad de evolución a la técnicas y metodologías educativas y formativas. En su trabajo (Johnson et al., 2016) resalta que “*The New Media Consortium Horizon*” informó que la realidad mixta pasaría a tener un papel importante en las K-12 enseñanzas a partir de 2019.

La realidad mixta posee un rango de aplicación muy importante, ya que, como los ordenadores o tablets pueden ayudar a multitud de tipologías de procesos formativos. (Dieker et al., 2008) en su trabajo realiza un estudio con 700 alumnos de la “Kaiser Family Foundation” durante unas jornadas de 7 días. El objetivo de su trabajo es analizar el potencial de la tecnología para ayudar a niños con discapacidades. Su trabajo resalta la bondad de la aplicación de la realidad mixta, y lo describe como: *“The posttest results demonstrate that the mixed reality training supports transfer of learning to the home environment, increasing the potential for longlasting positive therapeutic outcomes”*. Otro estudio con niños fue propuesto por (Meir et al., 2013), en sus objetivos estaba el mejorar el proceso de decisión utilizado para determinar si se debe o no cruzar una carretera. Además, estudian cómo y cuándo se toma la decisión de cruzar. La aplicación de la realidad mixta permitió a Meir simular situaciones reales en entornos reales y controlados para ofrecer a los niños un proceso de aprendizaje en situaciones de riesgo sin que los alumnos estuvieran nunca en peligro. En este trabajo Meir también utilizó adultos para conocer los distintos momentos de la toma de decisión de cruzar una carretera.

Otros investigadores han aplicado realidad mixta a educación de mayor nivel, (Lindgren et al., 2016) realizó un trabajo de aplicación de realidad mixta a materias STEM, en particular para el aprendizaje de los fenómenos gravitacionales. En sus resultados recalca la mejora de los estudiantes que usaron realidad mixta frente al grupo control, así como la oportunidad para la evolución de la educación que ofrece la realidad mixta. Con un enfoque semejante pero aplicado a otra materia encontramos el trabajo de (Weng et al., 2018) donde realizó una comparación entre material tradicional y un libro con capacidades extendidas con realidad mixta. Los resultados de su estudio ofrecen mejoras en los alumnos con uso de realidad mixta en varias subtarefas del proceso de aprendizaje: analizar, recordar y entender. Además, Weng concluye que la realidad mixta ayuda a los alumnos, que en una determinada temática tiene capacidades menores, a superar el gap que existe entre ellos y sus compañeros a los que, a priori, se les presupone mejores capacidades.

A nivel universitario, (Stojanovska et al., 2019) estudió el proceso de aprendizaje de anatomía con realidad mixta y sin ella. Utilizó los exámenes escritos y prácticos para analizar los resultados. Este experimento implicaba a los alumnos el aprendizaje de la anatomía del cráneo. En los exámenes, no se hallaron diferencias estadísticas que sustentara una afirmación en uno u otro sentido, ahora bien, en sus conclusiones resalta que el tiempo utilizado por los dos grupos tuvo una diferencia notable. Para alumnos con realidad mixta el aprendizaje de la anatomía le supuso, en media, un esfuerzo de 3.6 horas. En el caso de alumnos que no utilizaron realidad mixta, esta misma tarea les costó, en media, 6 horas.

Una aplicación muy relevante para los procesos educativos es la formación de los propios maestros. El proceso de aprendizaje que conlleva la experiencia de un profesor es muy relevante para los alumnos a los que ha enseñado durante sus primeros años de profesión. Es por esto por lo que las aplicaciones guiadas a mejorar y acelerar el aprendizaje y conocimiento de los profesores puede ser muy relevante. En esta línea encontramos el trabajo de (Bautista et al., 2015), en él propone utilizar TeachMe Lab, desarrollado por la universidad de California, que proporciona un entorno de realidad mixta para la educación. Bautista obtuvo una participación de 62 profesores de infancia los cuales, en el momento del estudio, se encontraban en las prácticas previas a ejercer de forma autónoma. Así, en sus estudios encontró una diferencia positiva en el resultado de los profesores en prácticas que usaron realidad mixta. Más adelante (Piro et al., 2018) propone el uso de realidad mixta para facilitar a los profesores en prácticas una fase inicial previa a las propias prácticas en los colegios.

### **Ingeniería, industria y construcción**

Este campo representa otro de mayor aplicabilidad de la realidad mixta debido al motor económico que representa el sector. Dentro de este sector, uno de los primeros casos de aplicación ha sido la industria aeronáutica. En la literatura podemos encontrar una relación de las diferentes apuestas que esta industria ha realizado. Uno de los campos más prolíficos es el apoyo al per-

sonal de mantenimiento de las aeronaves (Christian et al., 2007) (Wang, 2014) (Fonnet et al., 2017) (Eschen et al., 2018) (Siyayev et al., 2021).

De forma genérica, las aplicaciones en el campo industrial han ido en la línea de apoyar a los trabajadores en distintos puntos de la cadena de producción. Trabajos como el de (Kurschl et al., 2021) exploró principalmente en la incorporación de información digital a la ejecución de sus tareas. Con esta misma idea de aplicación de propósito general es utilizar la realidad mixta como un medio de mejorar la interacción entre robot y los técnicos de las plantas. Por ejemplo, en labores de mantenimiento o informe de resultados. (Bejczy et al., 2020) (Zhang et al., 2020) en su trabajo analizaron cómo la realidad mixta puede representar un nuevo tipo de interfaz de usuario con los robots, que ofrezca mejores capacidades de interacción y por tanto redunde en la mejora de la usabilidad de estos robots en determinadas situaciones.

Con la llegada de las HoloLens como dispositivo de realidad mixta se ha ofrecido a los investigadores una herramienta que permite dotar a los operarios de un nuevo medio de interacción con las máquinas o la infraestructura de la industria, este nuevo medio son los comandos de voz. Trabajos como los de (Pace et al., 2019) (Kaluza et al., 2019) (Sorko et al., 2020) (Lang et al., 2019) utilizan como HMD de realidad mixta las HoloLens. Así mismo, aprovechan su capacidad de interacción por voz para dotar a los usuarios de una nueva manera de interacción sin necesidad de usar las manos. Estas quedan liberadas para poder trabajar en la tarea que se está realizando mientras se utilizan comandos de voz para acceder a la documentación, apagar, encender o cambiar de modo determinadas máquinas.

Las labores de diseño industrial también se han visto mejoradas gracias al uso de la realidad mixta. En su trabajo, (Kaluza et al., 2019) ofrece una plataforma sobre realidad mixta para ayudar a los ingenieros durante sus tareas de diseño de vehículos en la industria automoción.

Es importante destacar, al final, que la realidad mixta como cualquier otra herramienta es solo un medio para llegar a un fin, y son las personas las que usan dichas herramientas. Trabajos como los de (Kurschl et al., 2021) (Sorko et al., 2020) ponen de manifiesto que estas

nuevas herramientas deben tener un proceso de introducción adecuado en cualquier industria, ya que son herramientas que pueden resultar complejas y que pueden generar rechazo por parte de los usuarios. Debido a esto, cualquier acción de implantación de una herramienta de realidad mixta debe estar acompañada de un proceso de entrenamiento de los usuarios en la tecnología. El éxito de una implantación de realidad mixta como elemento de apoyo en la ejecución de una tarea viene determinado por el grado de aceptación de la tecnología por parte de los usuarios.

### 2.3 Protección del dato y sistemas robustos

Los ataques y delitos en los sistemas de computadores son tan antiguos como las mismas computadoras, pues es intrínseco al ser humano la existencia de personas dispuestas a lucrarse a partir del trabajo de los demás. Hoy en día la ciberseguridad vive un auge tristemente precedido por el aumento y la sencillez de los ataques que a diario encontramos en prensa general. Ya en 2006 Clive Humby dio el pistoletazo de salida a la economía del dato con su frase "*Data is the new oil*" y con esta nueva economía vino la necesidad de proteger estos datos adecuadamente.

Otro aspecto importante que interviene en el ecosistema de la ciberseguridad es el uso masivo de la nube de computación. En su origen, cualquier compañía tenía custodiado sus servicios, datos e infraestructura de forma interna, siendo la propia compañía la encargada en mantener todas las capas de la ciberseguridad actualizadas. La nube ha traído la descentralización de los servicios de sus propios Centros de Procesamiento de Datos (CPD) y ha liberado de cierta capa de seguridad a los "*Chief security Officer*" (CSO) de las entidades. Este cambio a la nube no es gratuito en aspectos de ciberseguridad, si bien algunos aspectos de ciberseguridad se simplifican, surgen amenazas nuevas derivadas de la descentralización y la pérdida de control en muchos de los aspectos de las infraestructuras de comunicación. Estos nuevos



aspectos son una aseveración de dificultades tradicionales (Subashini et al., 2011).

### **2.3.1 Integridad del dato**

Desde el punto de vista del usuario de la nube de computación, la infraestructura tecnológica necesaria para ofrecer un servicio o una aplicación se ofrece en función de las necesidades de la aplicación. Un punto importante es la escalabilidad de la base de datos, si la base de datos es una parte escalable de la infraestructura es por tanto un recurso que puede crecer en tamaño o en número. En el primer caso, escalabilidad en tamaño como por ejemplo de RAM, tamaño de disco, o velocidad de consulta no genera un problema para la integridad de los datos. Ahora bien, si por necesidad del servicio al que da cobertura debe crecer en número de bases de datos, por ejemplo, para dar mejor servicio a lo largo del mundo, nos podemos ver obligados a situar dos bases de datos en diversos puntos del planeta. Se hace necesario establecer mecanismos que garanticen la corrección del dato. Otra estrategia habitual es la posibilidad de mantener un nivel tolerable de fallos de integridad. Esta estrategia es muy dependiente del servicio que se ofrezca y de la semántica del dato que maneje. Servicios como Facebook o Twitter tienen mayor nivel de tolerancia que los que se puede permitir una entidad bancaria o servicios de financieros de grandes corporaciones.

En soluciones de realidad virtual como servicio, es decir, donde la computación ocurre en la nube, los datos que intercambian nube y clientes no son de naturaleza crítica. En la mayor parte de los mensajes que se comparten los dispositivos y la nube, los datos van a consistir en información de funcionamiento para ejecución de un algoritmo o para el almacenamiento para su posterior procesado.

### **2.3.2 Protección del dato y sistemas de transmisión de mensajes**

Junto a la integridad del dato, todo servicio en nube tiene que estudiar cómo se va a defender de los accesos maliciosos a los datos. Cuando se utilizan medios inseguros o puntos de acceso

públicos a Internet es necesario dar por supuesto que el medio de transmisión es inseguro y por tanto los mensajes de intercambio de información deben estar securizados en sí mismos.

Hoy en día, de manera generalizada dos tipos de estándares son utilizados para la creación de las interfaces de integración en los servicios en nube, estos son: SOA y Restful. Dada su ligereza y sencillez de uso, Restful es uno de los estándares de implementación de APIs de integración más comunes.

Para ofrecer ciberseguridad a estos estándares de comunicación encontramos en la literatura diversos esquemas de comunicación seguro, habitualmente utilizan un protocolo de intercambio de un par de claves seguras entre los “*end points*” de la comunicación tales como “*Secure Socket Layer*” (SSL) o “*Transport Layer Security*” (TLS) (Frier et al., 1996). Este último es una versión posterior de SSL. Utiliza cifrados X.509 y encriptación asimétrica para ofrecer una mejor protección al dato.

### 2.3.3 Autenticación y autorización

Representa la primera llave de cualquier mecanismo de securización de software. La autenticación, mecanismo por el cual un software reconoce la veracidad y legitimidad de un usuario que se conecta a sus servicios. Junto a la autorización, principio por el cual, un usuario autenticado posee siempre un conjunto de permisos o capacidades por las cuales tiene acceso de forma explícita a la ejecución de determinados servicios en un ecosistema.

En los servicios en nube, y más aún en aquellos que es habitual que otros sistemas accedan a ellos, es habitual añadir un tercer nivel de comprobación, que es el API-KEY, sistema de seguridad propuesto en el estándar Web 2.0 (Farrell, 2009). Este nivel tiene como objetivo legitimar el sistema que está accediendo a un determinado servicio con el fin de verificar el fabricante del sistema y de no ser adecuado restringir acceso de forma más segura y eficiente.

## 2.4 Conclusiones del esto del arte

“Human augmentation” es un concepto el cual, hoy en día, se encuentra en un punto de inflexión. La clave para la aplicación directa de este concepto está en la propia sociedad y en como está tecnología puede transformar las necesidades y expectativas de en materia de formación. Como hemos expuesto, la “human augmentation” puede ser tratada desde diversos puntos de vista y enfoques de actuación. Uno de estos enfoques de gran interés hoy en día en la aplicación de las realidades extendidas con el fin de ofrecer entornos únicos de operación hombre-máquina. Científicos de todo el mundo buscan como apoyar a la sociedad mediante la aplicación de estas realidades extendidas a la formación y el entrenamiento en diversos campos de actuación; estos enfoque van desde una aplicación superflua hasta que la human augmentation se el eje central de la acción, y estos enfoque han obtenido distintos resultados. Así mismo las aplicaciones y casos de uso han sido muy variados, entre los casos de uso destacamos aquellos donde, bien por peligrosidad, por coste o por incapacidad de localizar a los alumnos en un entorno de formación real, las realidades extendidas son una herramienta que clave en la modernización de estos procesos formativos. Junto al eje central de la investigación se han explorado, dentro de la literatura científica, los avances tecnológicos relacionados con la privacidad y seguridad de la información. En primera instancia en de un modo generalista para luego adentrarnos en las particularidades de los sistemas de “human augmentation” en relación a los datos que genera, procesa y transporta.

En nuestro análisis hemos detectado la principal barrera de implantación que las realidades extendidas tienen en la aplicaciones en entornos reales de formación. Esta barrera es el coste de implantación. Este coste está compuesto, en su mayoría, por el coste en recursos humanos necesarios para crear las experiencias formativas en los entornos virtuales necesarios para la ejecución de dichas experiencias virtuales. La eliminación o reducción, a unos mínimos asumibles, de los costes de implantación de las realidades extendidas es donde centramos

nuestros objetivos de investigación.



## CHAPTER 3

## Objetivos

## Resumen del capítulo

*Durante el capítulo de objetivos expondremos, de forma resumida, la subdivisión del objetivo general propuesto a partir de la hipótesis de partida del plan de investigación, en el subconjunto de los objetivos específicos que son necesarios alcanzar para poder dar cumplimiento al objetivo general que los agrupa.*

### 3.1 Objetivos específicos

En el Capítulo 1 hemos introducido la cuestión que da pie al trabajo de investigación que se desarrolla en esta tesis. Esta cuestión es:

#### Cuestión de la tesis doctoral

¿Podemos crear una solución a las grandes barreras para la universalización y la democratización del acceso a la formación en realidades extendidas de manera que este nuevo método para instruir a los profesionales sea la punta de lanza en la lucha contra los accidentes laborales en las próximas décadas?

Esta cuestión nos invita a explorar el uso de diversas técnicas, métodos y tecnologías con el fin de analizar, entender y solventar la última barrera del uso generalizado de realidades extendidas. De esta manera proponemos nuestra hipótesis de trabajo como:

#### Hipótesis de partida

Podemos hacer uso de algoritmos, técnicas y métodos de diferentes áreas de las ciencias de la computación que nos permitan crear una solución capaz de romper las barreras económicas que son el principal bloqueo para la aplicación generalizada y universal de la realidad extendida como medio para la formación de profesionales en prevención de riesgos laborales.

Y de esta hipótesis ofrecemos el objetivo general de la tesis doctoral:

#### Objetivo General de la tesis

Ofrecer, por medio de las nuevas tecnologías como inteligencia artificial, sistemas inteligentes y descripción de procesos, un modo por el cual podamos reducir el tiempo de desarrollo de una experiencia virtual formativa, eliminando así la barrera actual de aplicación de la tecnología en los sectores de ingeniería, industria y construcción.

De este objetivo genérico podemos extraer un conjunto de objetivos específicos que deberán ser resueltos para poder ofrecer una solución que satisfaga el objetivo general propuesto.

Los objetivos específicos son:

**OBJETIVO. 1. Estudiar de las tecnologías de *Human Augmentation*, realidad virtual y realidad mixta para evaluar sus capacidades y límites con el fin de encontrar la mejor aplicación:** un estudio previo del estado del arte, así como pruebas de concepto de las tecnologías en laboratorios y en entornos controlados es fundamental para definir un plan de investigación adecuado. Así mismo, este objetivo no es algo que se realice de forma aislada, sino que acompaña a todo el proceso de investigación, con cada avance deberían abrirse nuevas cuestiones y preguntas.

**OBJETIVO. 2. Ofrecer un sistema de computación en nube que ayude a la aplicación de tecnologías de *Human Augmentation* gracias a la simplificación de los recursos computacionales necesarios:** la nube de computación ha demostrado ser una gran herramienta para la escalabilidad de productos y servicios en multitud de aplicaciones. Esto es gracias a que, en un entorno “on premise” los recursos computacionales debían estar preparados y accesible para la peor situación de todas las posibles en un caso de uso. Por ejemplo, si nuestro sistema debe poder renderizar objetos 3D, procesar sus físicas, comportamientos y ejecutar un algoritmo de evaluación de acciones del usuario. Y así con todos los dispositivos conectables, entonces, el sistema debe tener los recursos técnicos para poder lanzar las operaciones, aunque la probabilidad de que estas acciones concurren en el tiempo sea enormemente baja. Un enfoque en nube, además de ofrecer escalabilidad horizontal, nos permite mover determinado procesamiento a la nube de computación. Esto reducirá el esfuerzo en cómputo de los dispositivos de los usuarios permitiendo mayor variedad en ellos y simplificando la aplicación de estos a situaciones reales.

**OBJETIVO. 3. Proponer un modo de desarrollo rápido de experiencias virtuales:** corresponde uno de los puntos principales de la tesis, que es buscar solucionar una de las barreras de entrada más importantes detectadas por (Raisamo et al., 2019) (Delgado et al., 2020). Nuestra solución debe apoyar y asistir a los creadores de formaciones para reducir drásticamente el esfuerzo dedicado a la creación. Con este objetivo debemos buscar el modo de separar el



proceso de creación de contenidos en dos etapas. La primera etapa es utilizada en el diseño de la propia experiencia, donde el usuario definirá las escenas, elementos y su comportamiento. La segunda etapa es estrictamente programática, donde se crea y se compila el código fuente con el fin de generar una aplicación. Así debemos ofrecer una solución que, a partir de información de la primera etapa, y aplicando tecnología y algoritmos ofrezca una forma de eliminar o reducir al mínimo la segunda etapa.

**OBJETIVO. 4. Definir una plataforma robusta:** la ciberseguridad hoy en día es una necesidad que todo software debe contemplar desde las primeras etapas de su diseño. La solución tecnológica planteada en esta tesis debe mover grandes cantidades de datos que provienen de experiencias virtuales de los usuarios y por tanto, son datos que determinan una información que no solo describe al usuario, sino que también podrían describir el modo de funcionamiento de maquinarias o elementos sujetos a propiedad intelectual de las empresas donde se realizan las acciones formativas. Siendo esto así la robustez, seguridad y estabilidad del sistema debe estar garantizadas.

**OBJETIVO. 5. Permitir que la realidad virtual y mixta sea vehículo para la formación:** se debe ofrecer un modo por el cual, el uso de realidades extendidas sea una herramienta determinante en los nuevos modos de formación del futuro. Estas dos realidades extendidas ofrecen distintas capacidades y límites. Por lo que es necesario determinar cuando una de ellas es más adecuada que otra. Un claro ejemplo será las formaciones con material de alto coste, en este tipo de formación es mejor tener una experiencia virtual para evitar incurrir en costes a la formación de los trabajadores.

**OBJETIVO. 6. Realizar una experiencia piloto en formación de PRL:** como objetivo de esta tesis tenemos una prueba, en una experiencia piloto, de las investigaciones realizadas. Buscando validar el trabajo ejecutado, así como la de generar los límites de la investigación que marquen el trabajo para las líneas de actuación futuras para los investigadores en este área.



## CHAPTER 4

## Discusión integradora

## Resumen del capítulo

*Durante este capítulo se presentará, en su inicio, las investigaciones preliminares que el doctorando realizó previas a la presentación del plan de investigación y que resultan de interés para conocer el origen del esfuerzo investigador previo.*

*Posteriormente, expondremos la ejecución del plan de investigación realizado y como los resultados de esta investigación han ido redundando en la presentación de los artículos de investigación que componen esta tesis por compendio. Desde los primeros trabajos de investigación en ciberseguridad para un desarrollo seguro, confiable y robusto, hasta las investigaciones que dan como resultado la solución tecnológica con la que construimos formaciones en realidades extendidas así como, la experiencia piloto realizada para evaluar como las realidades extendidas impactan en la experiencia formativa del alumno. Finalmente, introduciremos nuestra propuesta de definición de human augmentation y una clasificación de las soluciones con estas tecnologías. Esta definición difiere de las actuales, presentes en la literatura científica, debido a que su punto de vista es global a la solución y no específica a un dispositivo como se utiliza en las actuales en la ciencia.*

## 4.1 Investigación preliminar

Con la llegada de los HMD de nueva generación de realidad virtual como Oculus Quest o HTC Vive se experimentó una revitalización en la investigación en este campo. Y el equipo de investigación de la Fundación I+D del software libre (FIDESOL) se unió a esta nueva corriente de aplicación de la realidad virtual con los nuevos HMD mucho más inmersivos que sus predecesores.

El primer caso de aplicación fue el proyecto denominado PRACTICA. En dicho proyecto (Lombardo et al., 2019b) expuso una novedosa solución para ofrecer cursos de entrenamiento en diversas disciplinas. En este primer caso real se optó por incluir otro dispositivo externo fuera de la realidad virtual para favorecer la creación de experiencias virtuales, estos dispositivos fueron pedales de interacción, similares a los de un coche o una maquinaria. Como parte de este proyecto se realizaron las primeras pruebas de concepto para analizar cómo debía ser un editor de experiencias virtuales. Buscando ofrecer una solución de compromiso entre la necesidad de programación de comportamientos y la simplificación del proceso de creación de la experiencia virtual. Este trabajo culminó con una experiencia piloto sobre la formación de conducción de carretillas mecánicas, además de la manipulación de sus sistemas de elevación hidráulicos para el posicionamiento de cajas en un almacén.

El segundo caso de aplicación de la realidad virtual fue aplicado al campo de la Medicina terapéutica. El objetivo fue utilizar realidad virtual en combinación con otras tecnologías para ayudar a pacientes con Parkinson en su terapia. La solución se diseñó para ayudar a pacientes con Parkinson y un agravante denominado "*Freezing*". Dicho agravante provoca en los pacientes una dificultad en el paso que entorpece su buen caminar, e incluso puede llegar a, sin previo aviso, paralizar el tren inferior y provocar al paciente una caída. Estas caídas, en pacientes de Parkinson que habitualmente son de edad avanzada, puede provocar fracturas que merman de manera muy importante la calidad de vida del paciente. La solución denominada

Mobeeze se realizó junto a 2 empresas tecnológicas (VirtualWare y Gestorex) y al Instituto de investigación del Hospital virgen de la Paz (IdiPAZ) y finalmente la experiencia con pacientes se desplegó en el centro de innovación de “La Salle centro universitario” en Aravaca. En esta solución, junto a dispositivos de interacción natural como Kinect y Leap Motion, se analizó el comportamiento de los pacientes dentro de una realidad virtual. Además, se utilizó Watson de IBM como motor de inferencia para el análisis de los datos de las experiencias virtuales de los pacientes. Los resultados de la investigación expusieron una influencia positiva de las acciones en realidad virtual (Lombardo et al., [2019a](#)).

Estas investigaciones originales fueron la base formativa e investigadora del trabajo realizado en esta tesis. Debido a que:

- Detectó un campo de investigación con un gran poder de aplicación como el “*Human Augmentation*” y las realidades extendidas.
- Ofrecieron las primeras pruebas de concepto técnicas con las que se pudo analizar algunos límites de la tecnología.
- Permitted trazar un plan de investigación robusto y realista con un alto nivel de aplicabilidad en una disciplina con una variedad de casos de uso tan diferente como es la prevención de riesgos laborales.

## 4.2 Desarrollo de la investigación

La realidad virtual como herramienta para la formación de profesionales ha sido explorada en diversas ocasiones como se ha expuesto en el Capítulo 2. Con esa base y partiendo de las conclusiones que investigadores como (Raisamo et al., 2019) (Delgado et al., 2020) se traza un plan de investigación para utilizar las realidades extendidas como un vehículo de contenidos. Ahora bien, en nuestra investigación el foco del trabajo se sitúa en resolver los problemas expuestos por diversos investigadores en el pasado, estos problemas se resumen en simplificar por medio de la tecnología la aplicación de soluciones de *Human Augmentation*.

El plan de investigación utilizó una metodología ágil incremental, de esta manera se trata de ir aplicando diversas investigaciones y los resultados de las pruebas de laboratorio a una solución final. Esta metodología tiene una excepción y es en el proceso inicial de construcción. Es en este momento donde se asienta la arquitectura tecnológica que se aplicará a lo largo de toda la solución. En el diseño de esta arquitectura se hizo un especial hincapié en trazar las bases de un desarrollo seguro desde su origen, es decir, la ciberseguridad en la solución no podía ser una característica de la plataforma sino un requerimiento fundamental del desarrollo de la misma. Para ello, englobado en el proyecto IASEC, se realizó un estudio de las amenazas posibles y de los habituales medios de protección que la literatura científica ofrece para paliar y mitigar sus efectos. Dado que, en ciberseguridad, la protección absoluta es una meta que tiene que darse como inalcanzable, exploramos la posibilidad de incluir algunos de los resultados obtenidos en los estudios de recuperación de amenazas sobre los sistemas de información de las empresas analizadas. Y finalmente se determinaron los siguientes medios como los idóneos para nuestra arquitectura:

- API-KEY: de forma que nos permitirá defendernos de la explotación abusiva de nuestras APIs expuestas.
- Web Token: para la comprobación rápida de autorización y autenticación en las APIs.

- Contenzación de los servicios: utilizando un esquema distribuido en Docker con contenedores con capacidad de funcionamiento atómica (servicios web bajo estándar *state less*)
- Desacople de la información: de esta manera se podía discriminar de donde se obtenía la información de las experiencias virtuales, así una experiencia virtual podía funcionar a la vez con servicios en nube y con repositorios de información dentro de la red de ciberseguridad de las entidades donde se ejecuta la experiencia virtual formativa.

Estos principios de ciberseguridad garantizan una solución robusta que ofrece un servicio en nube seguro tanto para los servicios expuestos como para los datos de los usuarios que utilicen la tecnología.

A partir de este trabajo, se continuó en el estudio de cómo se podría generalizar y automatizar el proceso de creación de experiencias virtuales. En estos meses se trabajó el un desarrollo que desacopla el proceso de creación de las experiencias virtuales de dos elementos:

1. Herramienta de diseño: ideada para crear experiencias virtuales en 3D de formación. Además, está construida para evitar la programación en ningún lenguaje de programación.
2. Dispositivo de realidad extendida: la creación de experiencias virtuales es independiente de la situación donde finalmente se vaya a ejecutar o del dispositivo utilizado para introducir al usuario en esa realidad. Por lo tanto el dispositivo debe de ser independiente ya que una experiencia para realidad virtual y otra para realidad mixta existen elementos comunes y otros diferenciadores, por ejemplo, la escena. En una experiencia virtual es importante crear una escena donde contener los elementos de la experiencia para dar mayor realismo al proceso. A diferencia de esto, en una experiencia en realidad mixta, la escena no es necesaria, ya que el entorno real ya realiza la función de contener toda la información. Por su lado el creador de contenidos, en realidad mixta, solo necesita poner los elementos virtuales en una posición relativa al usuario de la gafa.

Junto a este trabajo se desarrolló la nube de computación que dio lugar a la arquitectura por eventos (*event driven architecture*) que posee el conjunto completo de la solución que ofrece a nuestro estudio las siguientes características:

1. Big data del comportamiento de los usuarios: todo evento que acontece en una experiencia virtual es enviado a la nube para su procesamiento. Gracias la arquitectura orientada a eventos, el nivel de trazabilidad de lo ocurrido en las experiencias virtuales es muy importante lo que nos permite analizar cómo los usuarios interactúan con la solución.
2. Centralización de las experiencias virtuales: toda aplicación desplegada en un dispositivo de realidad virtual podría hacer uso de las experiencias formativas registradas. No sería necesario tener un ecosistema de aplicaciones, sino una aplicación con la capacidad de ejecutar cualquier experiencia creada en la solución.
3. Ejecución de algoritmos pesados en la nube: todos los eventos creados en las experiencias virtuales son enviados a la nube para su procesamiento. A parte de registrarlos para su posterior análisis, un evento puede invocar un algoritmo de procesamiento pesado.

Este conjunto de artificios desarrollados en el estudio nos permitió crear CreaMe. Esta fase de desarrollo culminó en una experiencia piloto donde jugó un papel importante la nube de datos, generada gracias a los eventos que los dispositivos enviaron a la nube de computación. Un total de 287,52 minutos de experiencias virtuales fueron analizados para conocer cómo los usuarios interactúan con las experiencias virtuales, además los datos resaltan la bondad de las experiencias virtuales creadas con CreaMe para formar a los profesionales en prevención de riesgos laborales.

Para esta experiencia piloto se crearon con CreaMe 3 lecciones de formación en prevención de riesgos laborales en realidad virtual. La experiencia piloto completa puede leerse en el siguiente Capítulo 5, pero de forma adelantada en la tabla 1 puede verse los resultados de ejecución de la experiencia piloto. Donde un 83,18% de las formaciones resultaron con éxito



(success), es decir, que el usuario terminó correctamente la formación en prevención de riesgos laborales, y tan solo un 3,53% de las ejecuciones tuvieron que abortar por algún problema con la ejecución. En la figura 15 representamos una gráfica que muestra los resultados del proceso de formación en PRL. Aquí exponemos para cada porcentaje de tareas de PRL que número de ejecuciones superó dicho porcentaje.

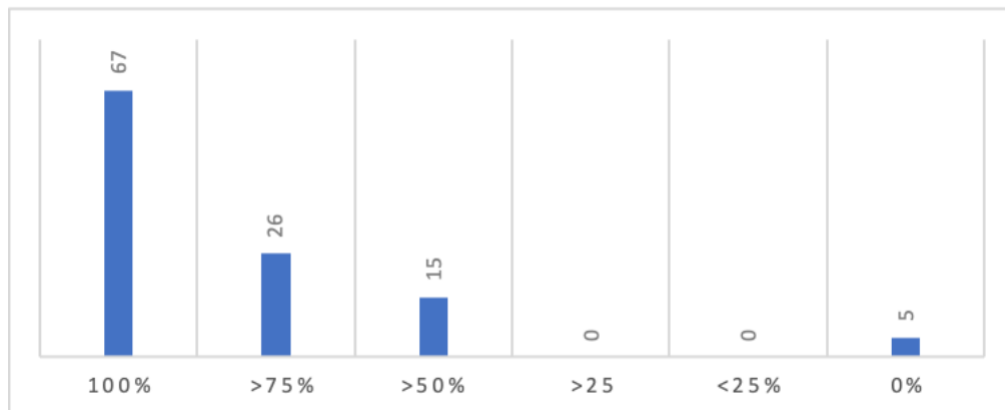


Figure 15: Distribución de ejecuciones en función del porcentaje de tareas de PRL resueltas con éxito  
Fuente: Elaboración propia

Lesson	N	Success	Fault	Abort
lesson 1	37	36	0	1
lesson 2	42	27	15	0
lesson 3	34	31	0	3
total	113	94	15	4

Table 1: Resultado de las ejecuciones en la experiencia piloto de CreaMe.  
Fuente: Elaboración propia

Entre las líneas de trabajo detectadas para continuar con la investigación en este área fue el uso de la realidad mixta como vehículo de formación en un nuevo proceso formativo. La realidad mixta ofrece la capacidad de realizar formaciones con elementos reales y digitales en el mismo espacio donde el profesional realizará su trabajo. Además, los elementos digitales pueden tener comportamientos para reaccionar no sólo a acciones o estímulos procedentes del usuario, sino también provenientes de elementos que componen el espacio de trabajo del usuario (por ejemplo, productos desplazados por una cinta transportadora)

Durante nuestro siguiente trabajo se realizaron las pruebas de concepto y estudios para

conocer las capacidades de la tecnología. Como dispositivo de realidad mixta se utilizó las gafas HoloLens 2 de Microsoft. La aparición de estas gafas ha supuesto una revolución en las investigaciones con realidad mixta. La versión 2 de este modelo de gafas de realidad mixta mejora algunos aspectos como: comunicaciones, operaciones y gestos. Durante el estudio se analizó los distintos modos de interacción que un usuario tiene con los hologramas (holograma es el nombre que recibe los elementos 3D en la documentación técnica de las HoloLens). Los gestos existentes en HoloLens son: selección, pinzamiento, agarre y cierre de la mano. Estos gestos son los básicos con los que interactuar, existen otros gestos compuestos como por ejemplo el giro de un holograma a partir del giro de la mano tras seleccionar un holograma.

Si bien estos modos de selección resultan muy interesantes, al compararlos con la capacidad de interacción que los usuarios tenemos con dispositivos de realidad virtual obtenemos diferencias importantes. Estas diferencias, como por ejemplo la necesidad de que la mano esté dentro del campo de visión para proceder a su interacción, no provienen de la tecnología en sí misma sino del dispositivo de realidad mixta utilizado, en este caso HoloLens. Pero son tenidas en cuenta en nuestro estudio pues las HoloLens de Microsoft son, en este momento, el dispositivo de realidad mixta más capaz del mercado. Continuamos nuestro trabajo estudiando los modos de composición de hologramas dentro del espacio visible del usuario. Estas acciones son importantes ya que un futuro uso de la realidad mixta como herramienta para construir experiencias de realidad mixta fue evaluado por usuarios en laboratorio. Las pruebas en laboratorio de la realidad mixta suscitaron un gran interés por parte de los usuarios. Sobre la capacidad de componer hologramas mediante realidad mixta para crear experiencias generó un gran interés, pero su esfuerzo resultó mucho mayor que su homólogo mediante un programa específico para ello, como Unity3D, ya que la ventaja eliminar del proceso de creación varias fases de test no compensaba el sobre esfuerzo de crearlos con realidad mixta.

Finalmente, en nuestro último trabajo, afrontamos el reto de trasladar la creación rápida de experiencias virtuales a experiencias de realidad mixta y evolucionar esta hacia una de-

mocratización del proceso ofreciendo una publicación rápida de experiencias en la nube de computación.

Siguiendo con la línea de trabajo de CreaMe esta vez se aplica un enfoque de diseño semi-automático para la construcción rápida de experiencias en realidad mixta. Durante esta fase el código generado por el sistema de forma automática utiliza una composición de comportamientos para ofrecer, en función del tipo de experiencia (virtual o mixta) unos controladores de visualización e interacción adecuados. Es decir, si en una experiencia creada por el sistema existe un elemento que debe tener la capacidad de ser cogido por el usuario, los controladores de experiencia de usuario (UX) definen qué eventos deben ser lanzados para procesar la acción de coger, en realidad mixta será un evento de selección mientras que el evento esperado en realidad virtual es el de colisión con las manos del usuario.

Esta evolución de la solución la denominamos TrainingMR. Mantenemos la existencia de una nube de computación como *core* de la ejecución de las experiencias de usuario. Esta nube sirve de hub de comunicaciones de los eventos acontecidos en las experiencias en realidad mixta lo que nos permite evaluar cómo se comportan los usuarios en las formaciones. Las HoloLens, son dispositivos tontos donde las acciones más triviales (comportamientos básicos o procesamiento de gestos) son procesados en el propio dispositivo y son transmitidos hacia la nube. Esta operación, puede provocar la ejecución de algoritmos que, por su naturaleza pesada, son lanzados en la nube de computación. La nube también almacena todas las creaciones publicadas por los usuarios para permitir su ejecución. Las características más destacables de la solución son:

1. Solución para la formación mediante experiencias en realidad mixta: diseñadas mediante TrainingMR, la solución nos permite crear, evaluar y realizar formaciones en realidad mixta.
2. Arquitectura por eventos (*Event driven architecture*): esta arquitectura nos permite proce-

sar, en la nube de computación, todo lo ocurrido en los dispositivos.

3. Creación y publicación rápida de experiencias en realidad mixta: esta capacidad permitirá a los usuarios construir y compartir formaciones de alto valor para sus industrias ayudando a mejorar el PRL de estas.

Las ejecuciones en laboratorio han encontrado una muy buena acogida entre los usuarios de pruebas encargados de evaluar la viabilidad del sistema como una herramienta válida para crear y formar a personal en PRL

Como parte de la aportación a la comunidad científica, en este último trabajo se ofreció una nueva definición de *Human Augmentation*. La motivación que llevó a ofrecer una nueva definición era tratar de dar un enfoque novedoso y orientada al modo de aplicación actual.

Nuestra definición es:

#### Definición de *Human Augmentation*

*the augmentation of the user from devices with which they are equipped or dressed, to improve the results of tasks by transforming the way they are performed*

En nuestra definición indicamos explícitamente la necesidad de llevar o vestir los dispositivos, esto invalida el *Human Augmentation* por cirugía o por ingeniería genética que por ejemplo propone (Li, 2021). Bajo nuestra definición estas actuaciones son más correctas incluirlas en “*Human Enhancement*” debido a que mejoran el cuerpo humano en sí mismo. Adicionalmente se ofrece una clasificación de *Human Augmentation*, en este caso el enfoque difiere de lo que encontramos en la ciencia debido a que las clasificaciones existentes buscan categorizar dispositivos individuales. En nuestro caso proponemos clasificar actuaciones sobre usuarios ya que hoy en día es habitual encontrar aplicaciones de *Human Augmentation* que actúan en varios sentidos y en acciones a la vez (como por ejemplo el uso de Oculus Rift que afecta a los sentidos de vista y oído y además te da una forma de interactuar con el entorno). Nuestras categorías son:

### *Augmented successfully*

Son aplicaciones cuyo fin es la mejora, por aplicación directa, del resultado de una o varias tareas del usuario. Un ejemplo podría ser la combinación de realidad mixta con un dispositivo de detección de movimientos de manos (que sería el caso de las HoloLens) para interactuar con un robot bajo el agua.

### *Augmented Multitasking*

En esta categoría englobamos las actuaciones que permiten al usuario realizar más acciones en paralelo que de otro modo no podríamos realizar. Un ejemplo sería el uso de robots en una cadena de montaje industrial mediante gafas de realidad mixta y comandos por voz. Así el usuario puede continuar con su trabajo mientras ordena al robot realizar otras operaciones, lo que en resumen sería realizar varias tareas de forma simultánea y colaborativa.

### *Augmented perception*

Aquí se engloban las tareas cuyo objetivo es mejorar la información que el usuario dispone de su entorno. Aquí englobamos tecnologías centradas en ayudar al usuario en la creación, diseño o investigación. Estas tecnologías de *Human Augmentation* no mejoran el resultado de forma directa, pero si proporcionan la información para ayudar al usuario a mejorar el resultado final.



## CHAPTER 5

---

Artículos

---

### Resumen del capítulo

*En este capítulo ofrecemos los cuatro artículos de investigación presentados a la tesis y que componen el compendio de la misma.*

*Información del artículo*

Título	Intelligent Detection and Recovery from Cyberattacks for Small and Medium-Sized Enterprises
Autores	Miguel Ángel López, Juan Manuel Lombardo, Mabel López, Carmen María Alba, Susana Velasco, Manuel Alonso Braojos, Marta Fuentes-García
Afiliaciones	Fundación I+D del Software Libre (FIDESOL)
Revista	International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence
Editorial	UNIV INT RIOJA-UNIR
Volumen	6
Páginas	47-54
Año de publicación	2020
DOI	10.9781/ijimai.2020.08.003
Factor de impacto	3.137 (JCR 2020)
Áreas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Computer science, artificial intelligence</li> <li>2. Computer science, interdisciplinary applications</li> </ol>
Rank	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Computer science, artificial intelligence: 58/139</li> <li>2. Computer science, interdisciplinary applications: 55/111</li> </ol>



# Intelligent Detection and Recovery from Cyberattacks for Small and Medium-Sized Enterprises

Miguel Ángel López, Juan Manuel Lombardo\*, Mabel López, Carmen María Alba, Susana Velasco, Manuel Alonso Braojos, Marta Fuentes-García

Fundación I+D del Software Libre (FIDESOL), Granada (Spain)

Received 16 May 2020 | Accepted 29 July 2020 | Published 7 August 2020



## ABSTRACT

Cyberattacks threaten continuously computer security in companies. These attacks evolve everyday, being more and more sophisticated and robust. In addition, they take advantage of security breaches in organizations and companies, both public and private. Small and Medium-sized Enterprises (SME), due to their structure and economic characteristics, are particularly damaged when a cyberattack takes place. Although organizations and companies put lots of efforts in implementing security solutions, they are not always effective. This is specially relevant for SMEs, which do not have enough economic resources to introduce such solutions. Thus, there is a need of providing SMEs with affordable, intelligent security systems with the ability of detecting and recovering from the most detrimental attacks. In this paper, we propose an intelligent cybersecurity platform, which has been designed with the objective of helping SMEs to make their systems and network more secure. The aim of this platform is to provide a solution optimizing detection and recovery from attacks. To do this, we propose the application of proactive security techniques in combination with both Machine Learning (ML) and blockchain. Our proposal is enclosed in the IASEC project, which allows providing security in each of the phases of an attack. Like this, we help SMEs in prevention, avoiding systems and network from being attacked; detection, identifying when there is something potentially harmful for the systems; containment, trying to stop the effects of an attack; and response, helping to recover the systems to a normal state.

## KEYWORDS

Attack Detection, Attack Recovery, Blockchain, Cybersecurity, Machine Learning, SME.

DOI: 10.9781/ijimai.2020.08.003

## I. INTRODUCTION

CYBERCRIME is being increased to alarming levels nowadays, thus being already included in the national security and defense agenda. These crimes are a global epidemic that affect every computer system in the world [1]. The cybercriminal profile is not related to the expert and enthusiastic hacker that aims breaking security to test systems anymore [2]. Technically advanced countries and nations are now more involved in security incidents with different impact (due to either political or economical reasons) [3]. At the same time, criminal organizations tend to change their activity area in order to make their criminal practices more sophisticated. Cybercrime has become more professional, smart and stealthy [4]. This has led to a change in the attacks, which are even more frequent in the last years.

Attacks aimed at exploiting vulnerabilities existing in information systems from critical infrastructures have been increased [5], [6], as well as from strategic areas such as energy or water supply, health, transports or finances [3]. In addition, Small and Medium-sized Enterprises (SMEs), due to their weakness and relevance in the activities and economy of a country, are also relevant targets. SMEs attacks aims to disturb or interrupt their basic structures, having a huge impact both in the entity [7] and the continuity of its services [8] that,

sometimes, are essential. These attacks are well studied actions that imply a significant benefit with low risk for the criminals, due to its international nature, adaptability, mobility, and opacity [9].

Some of the most common attacks in 2018 were phishing, social engineering and data hijacking [10]. These attacks were performed achieving a 78% of effectiveness. Due to its fast propagation and effects in computer systems, which has even a more impact in SMEs, ransomware is one of the most important data hijacking attacks [11], [12]. This malicious software is really harmful [13], since it is diversified and it attempts to hide its actions and to maximize the benefits using advanced techniques [14]. When ransomware are activated, it is needed to switch off the systems and to activate all the security protocols for severe risks. The worst ransomware attack until the date was *WannaCry*, which took place in 2017. This attack affected many organizations and companies in 150 countries, having about 200,000 hosts affected [15]. The *Ryuk* attack, which was planned in a better way than *WannaCry*, took place more recently. *Ryuk* was designed to block as much number of systems as possible in a corporate environment [16]. On the other hand, the Covid-19 crisis has made the cybercriminals to be focused in health systems [17] and laboratories in order to worsen the consequences of the attacks [18].

Another dangerous example of stealing data is a bank Trojan that pursues the misappropriation of electronic bank accounts by means of collecting user credentials [19]. This attack has become more sophisticated since it appeared by 2004 for the first time. Checking the authenticity of a web page is not enough anymore: this malware fetches

\* Corresponding author.

E-mail address: jmlombardo@fidesol.org

the introduced data, as well as the screen or data in the web page that is visited, making measures like virtual keyboards to be inefficient [20]. Distribution mechanisms in financial malware are better and better, which has serious effects in those entities that show a low defense against this type of attacks [21]. Financial malware increased 58% in 2019 in relation to the previous year, having more presence among threats, which is alarming [22].

Different malware families, such as ransomware, bank Trojans, and other attacks aiming to steal information, use the Domain Generation Algorithm (DGA) to generate many malicious domain names pseudo-randomly [23]. These domains can be used to compromise hosts, which makes it more difficult for the investigators to find the origin of the attack. Another attack that allows data stealing is SQL injection (SQLi), which introduces malicious code in a database by means of a web application, taking advantage of existing vulnerabilities in such database. Like this, the attacker can, for example, steal credentials for phishing the administrator identity and access, modify or delete information in the compromised database [24], even making it to be inaccessible. SQLi had high relevance during 2018 y 2019, being related to more than 72 % of attacks vectors to the web. From such vectors, 36% affected financial services directly [25]. Deny of Service (DoS) is also a dangerous attack against the availability of systems, which makes their legitimate users not being able to use compromised systems [26]. Distributed DoS (DDoS) evolved from the original DoS attack, having similar effects but applying different strategies. In a DDoS attack, the attacker usually builds an army (computers network, which is normally named botnet) by means of infecting hosts with malware (called zombies or bots). Bots can address the attack against a specific server, which ends suffering a heavy network traffic due to the overload [27]. The most advanced versions of DDoS are performed using Internet of Things (IoT) devices. This is the case of *Mirai*, *Brickerbot* or *Hajime* [28], which carry out DDoS attacks against low cost IoT devices that do not implement security measures. Like this, it is easier to control the infected devices, transforming them in an army that serves the hackers.

#### A. Mechanisms of Detection and Defense Against Attacks: the SME Problem

Both infrastructure and reputation turn damaged as a consequence of the aforementioned attacks. These damages can be even more severe for SMEs, having negative effects such as: reducing sells, losing clients [29], investors and number of employees, decreasing incomes, or even closing the company [30]. The number of cyberattacks increases everyday, which makes no organization to be free from suffering damages due to cybercrime. Furthermore, suffering a cyberattack in essential services provided by SMEs can produce a highly negative impact, yielding catastrophic effects if this happens in systems involved in critical infrastructures [31].

Although organizations invest in security mechanisms, most of these mechanisms are not effective due to attacks are more and more complex and evolve daily [32]. There is no doubt about sophistication and adaptability of cybercriminals to both environment and circumstances, since they study the most weak systems that are potential targets for the attacks [33]. This evolution is so fast that security teams can not predict the moment and target of an attack. Thus, it is essential to have a proactive security system allowing to detect threats and attacks timely in order to minimize damages. Companies are aware of this evolution and, for this reason, they invest in advanced security systems, such as Intrusion Detection Systems (IDSs), Security Information Event Management (SIEM) systems, Security Operations Centers (SOCs) or Managed Security Service Providers (MSSPs). These tools, by means of artificial intelligence, provide advanced threat and attack detection techniques and allow the automation of

security processes [34]. Furthermore, companies create response plans according to systems and profiles in order to determine guidelines that need to be applied when a security incident is detected [35]. Yet, companies usually have a reduced economic capability to implement the aforementioned systems. Indeed, about 87% of companies do not have resources enough to acquire security systems [36]. This is the case of SMEs, which usually do not introduce the protection mechanisms needed. This makes them to be the main target for cybercriminals [37]. Furthermore, protecting new gadgets that are essential for working, such as smartphones or IoT devices is even more complicated [38]. For all these reasons, it is needed to develop a system with advanced features (similar to IDSs or SIEM systems), providing security against the most relevant attacks and being affordable for SMEs. This system should allow any organization to decrease both economic and social impact of suffering a cyberattack.

This paper shows the work carried out as a part of the IASEC project, which aims creating a researchers unit (*Unity of Innovation*) composed by workers both from Vector SF and Fidesol. The goal of IASEC is to perform research and development activities to build and optimize algorithms and tools, allowing to reach solutions that improve cybersecurity both in companies and other institutions. Initially, this project is being developed in a restricted environment for, later, being transferred to Andalusian SMEs for its evaluation under real conditions. The main objectives of IASEC are: *i*) providing resources to optimize detection and self-recovery of systems and services after suffering an attack, *ii*) creating a solution to allow detecting and dealing fake publications on the Internet, *iii*) protecting IoT devices and Industry 4.0 from the most relevant attacks for SMEs, and *iv*) detecting and avoiding fake news and hoaxes spreading. These objectives are tackled by combining both smart systems and blockchain. Like that, blockchain help us to improve the security systems by protecting data integrity in a secure and transparent way. Thus, the *Unity of Innovation* aims to be a reference point in relation to cybersecurity technology transference to Andalusian SMEs and institutions. In this work, we introduce an architecture for smart detection of the most important attacks for SMEs, addressing the first of the objectives in the IASEC project.

The rest of the paper is organized as follows. In Section II we review the literature related to cybersecurity incidents in SMEs. In addition, we explain some of the algorithms for detecting the most affecting attacks for such companies. In Section III, we introduce our proposal in the IASEC framework for solving the detection and recovery problems against the previously identified attacks. The platform developed for detecting these attacks, as well as the corresponding architecture, are also described in this section. Finally, in Section IV we present the main conclusions derived from this work.

## II. RELATED WORK

### A. Cybersecurity Solutions for SMEs

Companies utilize different security tools with the aim of detecting and, sometimes, responding to security incidents. SIEM systems are one of the most extended tools. SIEM systems allow compliance of security regulations and managing events. These systems also allow event correlation as well as perform analysis of records and events from different data sources [39]. However, including a SIEM solution is really expensive and complex for SMEs [40]. IDSs are another security tool widely used. IDSs can be network-based (NIDS) and host-based (HIDS) [41]. NIDS monitor and analyze network traffic in real time, while HIDS analyze records, databases and other elements in a host to detect possible intrusions. Recently, researchers are focused in IDS development to achieve effective solutions against intrusions and attacks [42]. IDSs can also be grouped according to the type of detection technique. Thus, they can be signature-based [43] and model-based [44].

Different factors can be considered to choose a cybersecurity solution for an SME. For example, one can select indicators for the implementation of IDSs. Authors in [45] compare the main existing IDSs (e.g. *OSSEC*<sup>1</sup>, *Snort*<sup>2</sup> or *Suricata*<sup>3</sup>), and then they normalize the obtained data, assigning quantitative values to each indicator (e.g. license type, type of IDS, operating system, and interface). Weighting values are fixed by each SME according to its needs. The results of this study show that the most accurate IDS for SMEs is *Suricata* [45]. Furthermore, authors in [46] analyze different solutions for protecting sensitive information in SMEs. As a result, they obtain a ten tools comparative, where IDSs are highlighted. Authors in [47] propose using model-based IDSs for SMEs. They use Machine Learning (ML) techniques for data collecting, testing and evaluation the proposal. Their main goal is to determine which is the most efficient algorithm for intrusion detection. To do this, they compare the following algorithms for supervised detection: C4.5 (Decision Tree), Bayesian Network, Random Forest, Support Vector Machines (SVM), and Artificial Neural Network (ANN). The study is performed by taking measures from different sampling data. Results show that C4.5 is the most precise among the studied algorithms [47].

Finally, another proposal is to build a solution focused in cybersecurity for Smart-Home or Smart-Office [48]. This work deals two research topics: data collecting from commercial or industrial IoT networks, and datasets exploitation for intrusion detection applying ML methods. For the last one, authors apply two variants of Long Short-Term Memory (LSTM), which is a type of neural network [48].

## B. Detection and Response Algorithms for the Main SMEs Attacks

As we explained before, DoS (and DDoS), malware, or web-based attacks are some of the most extended security incidents [24]-[27]. Below we review some detection techniques for DDoS, SQLi and DGA, due to its impact for SMEs [26].

### 1. DDoS

Authors in [49] propose detecting DDoS attacks using Random Forests. The algorithm is validated using the *KDD '99 cup* dataset [50], which is labeled indicating whether exists an attack or not. The results of the study show that precision for attack detection is 94%, while 100% is reached for those that are attack-free [49]. Similarly, and using the same dataset, authors in [51] introduce a script to optimize the learning process. They start by selecting those features in the dataset that are more accurate for model building, thus reducing the training time. Then, they implement a Random Forest (motivated by results from a previous comparison) reaching 99,92% precision.

There exist solutions for recovery once a DDoS has taken place. For example, authors in [52] show that blockchain can be used to mitigate DoS attacks. To do this, they propose to create a smart contract and a blockchain infrastructure in *Ethereum*. When a server suffers a DoS attack, the system records in the smart contract those IP addresses that are involved in the attack, creating new blocks every 14 seconds. Thus, each user in this network has an updated list with malicious addresses in the interval, allowing the security people to take actions for attacks mitigation. This solution can be extended to DDoS attacks.

### 2. SQLi

Authors in [53] obtain a model for SQLi attacks detection by feature extraction from web traffic. These authors use a free dataset provided by the European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of knowledge Discovery in Databases (ECML-PKDD) [54].

Expert knowledge allows selecting those features that help to detect patterns in web traffic related to SQLi attacks. Authors analyze and compare different detection algorithms using those features that have been selected. These algorithms are: Decision Stump, Naïves Bayes, Bayesian Network and Radial Basis Function (RBF) network, which is an ANN. The most efficient algorithm is Decision Stump [53]. Authors in [55] apply Naïve Bayes to classify SQL queries in malicious and legitimate. To do this, they take into account both grammar and SQL syntax, extracting features from language and defining rules. Another work that also apply feature extraction from SQL queries is [56]. Authors in this work train several classifiers, such as SVM, Ensemble Bagged Trees or Ensemble Boosted Trees. In this case, the best results are obtained for Decision Tree.

There exist solutions for SQLi attacks prevention and for system integrity preservation. For example, it is possible developing a blockchain system to avoid attacks against database management systems [57]. Authors in this work propose restricting access from nodes to the web server and the database. Access is filtered by using the blockchain, where the IP address used for accessing is recorded. Thus, only non-malicious IP addresses can access the server. Another work propose a framework that uses smart contracts from blockchain [58]. This framework has two components: the first one stores type of users and SQL queries, while the second one stores hash chains from queries that are allowed for each user. These chains are tokenized using the cryptographic function SHA256.

### 3. DGA

Authors in [23] propose classifying DGAs using LSTM. This proposal can be applied under real-time conditions, it is not based in features and allows classifying in families of DGA attacks [23], [59]. This type of neural networks are efficient for problems with sequential relationships, where previous states have effect in the current one [23]. LSTM is also applied in [60] for DGA classification. In this case, authors add a neuron with memory and the ability of discarding previous values that are far in time. DGA can be detected analyzing DNS traffic in pseudo-real time [61]. This work introduces an algorithm that is implemented using Aizoon Research for Advanced Malware Identification System (ARAMIS). The proposal filters non-resolved DNS requests (*UNRES*) and identifies those hosts showing the highest peaks for this value. When *UNRES* is increased suddenly, an analysis is performed, since it can be related to non-trusted domains trying a connection.

## III. DETECTION AND RESPONSE FOR ATTACKS AGAINST SMEs. THE IASEC PROPOSAL

The IASEC project is composed of three main milestones. The first of them aims studying main threats for a company, as well as the stages of an attack from the point of view of defending the company. The goal is developing methods and tools for detection and self-recovery of systems and services after a cyberattack takes place. The second milestone aims tackling user identity management in the Internet by means of blockchain for digital identity certification. Finally, the last one aims obtaining the knowledge needed for detecting and managing fake information publication in the Internet. This should be performed by combining both ML and blockchain.

### A. Steps for Defending an Attack

As explained during the Introduction, this paper is focused in detection and self-recovery of systems after an SME has suffered an attack. As a part of this first milestone, we have proposed a security platform for detection and self-recovery against cyberattacks. During the first stage of the project, we have designed and implemented the general architecture for the platform, as well as the detection (but not

<sup>1</sup> <https://www.ossec.net/>

<sup>2</sup> <https://www.snort.org/>

<sup>3</sup> <https://suricata-ids.org/>

the recovery) micro-services. Prior to this design and development, we have studied the steps for defending an attack, which are described in the next paragraphs from the perspective of the IASEC project.

### 1. Prevention

The goal of prevention is to avoid systems from being attacked and/or compromised, *i.e.* adopting required measures to make it more difficult carrying out a successful attack [62]. Prevention is essential, given that no company wants to deal with information stealing or denial of its services. These situations could involve serious economic consequences, as well as losing the reputation of the company [63]. Taking into account the relevance of preventing an attack, from IASEC we recommend that the implemented security system should include: access control, self-backup for critical files, self-update for security features, and black / white access lists. In addition, we believe that it is needed to install firewalls and anti-malware solutions to complement the aforementioned measures.

### 2. Detection

The goal of detection is to identify irregularities in systems [64]. This step is related to systems such as IDSs or SIEMs, which sometimes use ML to detect intrusions. In IASEC, we have studied some ML algorithms to detect the most affecting attacks for SMEs [23], [49], [51], [53], [55], [56], [60]. Then, we have selected the most accurate for each of the attacks, implementing an individual micro-service to detect each of them. These micro-services and the architecture proposed to implement our security platform are explained later in this section.

### 3. Containment

The goal of containment is to minimize the impact of having a cybersecurity incident in a company, avoiding its propagation and gaining time to build a recovery strategy [65]. Related actions can be disabling those accounts that have been compromised or isolating those hosts that have been infected [66], as well as making backups from hard-disks [67]. Another possibility is implementing fake systems that are similar to the real ones. These systems are used as traps, showing vulnerabilities that catch the attention from attackers, which makes the fake system to be attacked instead of the real one. Examples of this technique are honeypots or sandboxes [68]. From IASEC, we propose creating a virtual environment that should be designed to cheat the cybercriminals, emulating that it is possible to perform privilege escalation and steal user credentials. This solution is based in Deception Technology [69].

### 4. Recovery

The goal of recovery is to restore systems to a normal state after a security incident has taken place. To do this, it is needed to perform some actions after removing the threat [62]. Recovery, similarly to detection, is one of the most important stages in defense. Like this, recovery allows performing a fast restoration to the normal state of the organization, thus minimizing costs. From IASEC, we propose two solutions: *i)* creating a Security Incident Response Plan (SIRP) [35], and *ii)* implementing self-recovery measures. The former should include countermeasures in case of detecting any security breach. The latter is based in creating lists of malicious and legitimate IP addresses [52], [56]. Thus, we propose designing and developing a recovery system after attacks. This system should include a list containing malicious IP addresses that belong to the attacks previously detected using the micro-services. These IP addresses should be recorded in a blockchain network. Like this, it is possible to obtain a database updated with the malicious addresses for the server, allowing a faster recovery of the systems.

### B. Architecture of the Platform

The proposed security platform is designed to be a system with an architecture organized in micro-services, which are deployed individually in dockers. Micro-services can communicate with the user using an API, as well as with other micro-services. The platform is implemented using different programming languages, depending on the needs, with higher priority for Python versus Java or .Net.

Fig. 1 shows the scheme for the architecture, the components and their relationships in the micro-services platform. This platform is composed of a front-end and a back-end. The front-end, which is represented in green color in the left part of Fig. 1, corresponds to a client application that allows users interacting with the security micro-services. The back-end is composed of micro-services and a relational database. Users can provide data, and those data that are generated by the platform are stored using a static storage. A non-relational database is also available for the algorithms, to support the big data processing. User-platform interaction is performed by the exposition of an *API REST*, a hub and a request balancer based in *Netflix OSS* (API Gateway, Service Mesh)<sup>4</sup>. Micro-services are run in a docker ecosystem (represented in the bottom of Fig. 1), which ensures running independence, high availability and scalability. Docker container receive load balancing, routing, and orchestration (docker swarm). The CORE module, which is represented in the right bottom corner in Fig. 1, includes multi-language services to provide the following functionalities: database connection, notification (*e.g.* e-mail), security, log recording, generation of files, managing the generated files or those that have been sent to the platform, and other transversal utilities to cybersecurity services.

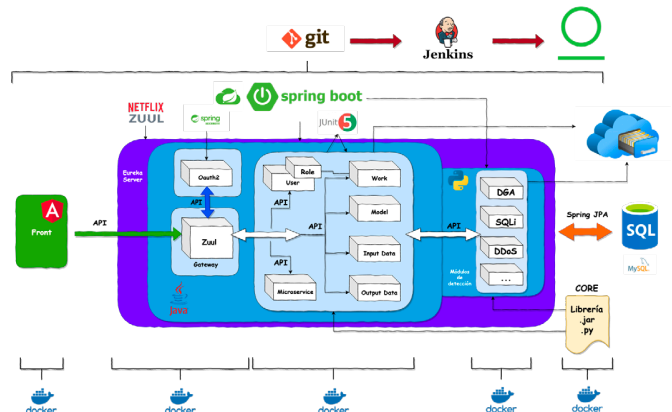


Fig. 1. Architecture for the IASEC micro-service platform.

Like this, our platform can be divided into two main parts:

- Part I.** This part manages user-related aspects of the platform: the database is created containing the tables that are needed for managing, like those related to users, micro-services and jobs (service requests). It is in charge of providing services to the user such as cybersecurity, data loading and downloading, authentication or job visualization, among others. Management is divided in *i)* web client (front-end), *ii)* back-end, and *iii)* load balancing (*Netflix* tools). The former ensures an agile interaction between user and platform. The second is composed by the management micro-services. Finally, the latter routes and balances algorithm requests for training and prediction, activating one instance of the docker where the requested algorithm is included.
- Part II.** This part involves the algorithms and the CORE module. The algorithms are run in instances of the docker, which will be stopped after each running due to the first phase of the project does

<sup>4</sup> <https://netflix.github.io/>

not allow real-time monitoring yet. Thus, intermediate information that is generated by the algorithm (*e.g.* support tables) is only available during the living time of the instance. In this first stage, micro-services allow loading a labeled dataset for the evaluation of the detection algorithms. The micro-service returns quantitative information related to the obtained prediction about detection. The micro-service output is saved into the static storage system.

### C. Micro-services for Detection of Known Attacks

Attack detection micro-services are implemented using the python Micro-Framework, *Flask*<sup>5</sup>. Micro-services are scalable, and it is possible to connect them to a database or any other component. Each of them trains a model according to some features that has been previously defined and using a supervised ML algorithm. We have implemented an individual micro-service for each selected attack (recall DDoS, SQLi and DGA) under the hypothesis that it is more efficient to perform an independent detection (in terms of precision) than having a single algorithm to detect all the attacks. It is possible adding other modules in the future, like the self-recovery component.

Micro-services can access the storage system of the platform, where they can obtain files that have been uploaded by the user and write output files or saving models. Thus, micro-services input is the path for those files that are needed to process data, while output corresponds to a state indicating the result of the process (successful or not) and paths for the generated files. The attack detection micro-services need to perform the training using the input data. Training is composed of different steps: 1) data pre-processing, 2) model building (using the selected algorithm), and 3) saving the model in a *pk16* file, which is stored in the static storage system. Then, the generated model is used to carry out the prediction. This model is applied to new monitored data to detect whether there exist an attack or not. Please, recall that in this first stage of the project it is not possible to perform real-time monitoring, instead a labeled dataset can be loaded and the micro-service returns the detection rate and other relevant information about the dataset for positive detection. This output is also saved in the static storage system.

#### 1. DDoS Detection

We have studied two different algorithms to implement the DDoS detection micro-service: Random Forest [49] and Decision Trees [51]. We have selected Decision Trees [49], since this algorithm obtain better results using the same dataset (*KDD'99 cup* [50]). For our testing, we have also used the *KDD'99 cup*, although it is possible to use any other dataset containing labels related to TCP connection, domain, and network traffic features [49].

#### 2. SQLi Detection

We have selected Decision Stump [53] to develop the SQLi detection micro-service, since it obtain the best results among the studied algorithms (Naïve Bayes [55] and Decision Trees [56]). In this first stage, we have used the same dataset as in Reference [53] for our testing. Like for the DDoS micro-service, it is possible using any other dataset containing those features that are needed for model building.

#### 3. DGA Detection

We have studied different proposals to implement DGA detection [23],[59]-[61]. We think that the best alternative is not only detecting DGA attacks, but also performing the classification among different families of DGA [23],[59]. Thus, we have decided implementing an LSTM neural network like in Reference [23], given its high precision both detecting DGA domains and classifying them. Our testing has been

carried out using the domains database from Alexa<sup>7</sup> and a database that has been created in the IASEC framework, where the latest malicious domains detected by OSINT [59] are collected. Thus, we have trained the algorithm with two datasets: one containing legitimate domains and another with malicious domains. However, our micro-service accepts any dataset containing urls from domains.

### D. Self-recovery

At the beginning of the section, we described the first milestone of the IASEC project, where one of the main goals is recovery for SMEs after suffering an attack. More precisely, one of these goals is self-recovery to protect the system integrity. Automation is usually related to design a tool being able of efficient self-recovery of the services in the compromised system. From IASEC, we propose implementing a module composed of micro-services being able to act in recovery tasks. Below we describe the proposed mechanisms for recovery after suffering any of the attacks that can be detected in our platform.

#### 1. DDoS Recovery

We consider different mechanisms for resilience and recovery after suffering a DDoS attack. First, we propose creating a micro-service for recovery that uses blockchain to record IP addresses related to the attacks. The micro-service should discard those network packets containing malicious IP addresses by means of network traffic analysis, similar to the proposal in Reference [57]. This mechanisms can be improved creating black-lists and white-lists, also using blockchain [52]. Like this, the micro-service should prevent and recover services after the attack takes place. Additionally, if the server is being overloaded, we propose redirecting network traffic to alternative or backup servers if the origin IP addresses are not in the black-list. Thus, if the main server is suffering an attack but the IP addresses have not been identified as malicious, the server will maintain its services available.

#### 2. SQLi Recovery

A possible solution to deal with an SQLi attack is locating those IP addresses that are injecting code and block them. To achieve this goal, we propose developing a micro-service for recovery. This micro-service should filter users requesting services taking into account their IP addresses. Queries that have been previously identified as malicious should be also denied. These IP addresses could be recorded using a smart contract in a blockchain. Like this, if a user is trying to access the system, a request should be performed to the blockchain network to allow or deny the access depending on the IP address in the origin [57]. Furthermore, this micro-service proposes a recovery mechanism for those tables that have been affected. This mechanism should check the writing history and restore to the last version before suffering the attack [70]. Like this, we propose a micro-service to avoid damages and allow recovering from an SQLi attack if finally it has been successful.

#### 3. DGA Recovery

To deal with DGA attacks, we propose creating a black-list including those domains that have been identified as malicious using the detection micro-service. This black-list should be used to update the detection system. In the same way as for the rest of the attacks, the proposal is to develop a micro-service that should record the malicious domains in a blockchain network to provide integrity to the system. Additionally, the micro-service should be able of creating backups from critical files before the attack is completed. Like this, after suffering attacks such as ransomware (which is related to DGA), the micro-service should be able of recovering the system to a normal state, ensuring that no relevant information is damaged or corrupted.

Furthermore, we propose alerting the person in charge of security

<sup>5</sup> <https://palletsprojects.com/p/flask/>

<sup>6</sup> <https://docs.python.org/3/library/pickle.html>

<sup>7</sup> <https://www.alexa.com/topsites>

about each detected attack and the actions that have been carried out. Like this, he or she will be aware of the incident and will take needed actions. Finally, SME employees should be trained to avoid social engineering attacks and data hijacking, and should be also informed about the SIRP.

#### IV. CONCLUSION

In this work, the main cybersecurity problems for companies are analyzed, paying special attention to SMEs. In this sense, main available solutions to protect their infrastructures and systems are also studied. One of the main conclusions derived from this work is that, sometimes, early detection is even more important than prevention. Thus, detecting an attack in an early manner, allows the security team troubleshooting the incident properly.

The main cybersecurity problem affecting SMEs is that they do not have resources enough to set up efficient security systems, such as SIEMs. In this paper, we have proposed a solution considering each of the attack steps from the point of view of the protection of the company (prevention, detection, containment, and recovery). Our solution aims improving SME security, reducing both economical and social problems derived from suffering an attack. The proposal is part of the IASEC project. More precisely, we implement a security platform that provides different micro-services to detect DDoS, SQLi and DGA attacks. The proposed architecture is scalable, allowing to add new micro-services according to the needs of the SME. These micro-services can be both for detection and recovery. The results have been satisfactory for the first release of the platform, yielding a good basis for the next stages where it is expected that the attacks can be detected in real time.

As a future work, we propose developing a second release that provides micro-services for automatic recovery after suffering an attack. These micro-services will be blockchain-based in order to enhance the integrity of the system. In addition, new experiments will be performed using real network traffic, allowing to validate our current models with data from an SME. Finally, the IASEC project will continue, working in the certification of digital identities using blockchain and providing solutions to deal with fake information in the Internet.

#### ACKNOWLEDGMENT

The IASEC project has been funded by the IDEA Agency (Junta de Andalucía). Project code: 402C1800002.

#### REFERENCES

- [1] Kaspersky, "Cyberthreat real-time map.Statistics", 2020. [Online]. Available: <https://cybermap.kaspersky.com/stats/>
- [2] J. Salom, "El ciberespacio y el crimen organizado", Cuadernos de estrategia, no. 149, pp. 129-164, 2011.
- [3] CCN-CERT, "Ciberamenazas y tendencias 2019", 2020. [Online]. Available:<https://cutt.ly/JyxichC>
- [4] D. S. Wall, "Dis-organised Crime: Towards a distributed modelo of the organization of cybercrime", The European Review of Organised Crime, vol. 2, no. 2, pp. 71-90, 2015.
- [5] L. Joyanes, "Introducción. Estado del arte de la ciberseguridad", Cuadernos de estrategia, no. 149, pp. 11-46, 2011.
- [6] Council of the European Union, Council Directive 2008/114/EC of 8 December 2008 on the identification and designation of European critical infrastructures and the assessment of the need to improve their protection. 2008.
- [7] M. S. Gordon, "Economic and National Security Effects of Cyber Attacks Against Small Business Communities", ProQuest Dissertations Publishing, 2018.
- [8] S. Kamiya, J.-K. Kang, K. Jungmin, A. Milidonis and R. M. Stulz,"What is the impact of successful cyberattacks on target firms?", *NBER*, no. 24409, 2018. DOI:10.3386/w24409.
- [9] Departamento de Seguridad nacional. Presidencia del gobierno, "Estrategia de seguridad nacional", 2013. [Online]. Available: <https://cutt.ly/iyxinv1>
- [10] C. M. Arce, "Ciberseguridad y crímenes informáticos: el lado oscuro de la red", *Revista Académica Arjé*, vol. 2, no. 2, pp. 14-19, 2019.
- [11] N. K. Popli and A. Girdhar, "Behavioural Analysis of Recent Ransoms and Prediction of Future Attacks by Polymorphic and Metamorphic Ransomware", *Computational Intelligence: Theories, Applications and Future Directions - Volume II. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 799, pp. 65–80, 2019. DOI:10.1007/978-981-13-1135-2\_6.
- [12] S. Bhattacharya and C. R. S. Kumar, "Ransomware: The CryptoVirus subverting cloud security", in 2017 International Conference on Algorithms, Methodology, Models and Applications in Emerging Technologies (ICAMMAET), 2017, pp. 1-6.
- [13] N. Scaife, H. Carter, P. Traynor and K. R. Butler, "Cryptolock (and drop it): stopping ransomware attacks on user data", in IEEE 36th international conference on distributed computing systems (ICDCS), 2016, pp. 303–312.
- [14] M. Antonakakis, R. Perdisci, Y. Nadj, N. Vasiloglou, S. Abu-Nimeh, W. Lee and D. Dagon, "From Throw-Away Traffic to Bots: Detecting the Rise of DGA-Based Malware", in 21st USENIX Security Symposium, 2012, pp. 491-506.
- [15] A. O'Dowd, "Major global cyber-attack hits NHS and delays treatment", *BMJ*, 2017. DOI:10.1136/bmj.j2357.
- [16] J. Hernandez-Castro, A. Cartwright and E. Cartwright, "An economic analysis of ransomware and its welfare consequences", *Royal Society Open Science*, vol 7, 2020. DOI:10.1098/rsos.190023.
- [17] M. V. Fontanilla, "Cybercrime pandemic", *Eubios Journal of Asian and International Bioethics*, vol. 30, no. 4, pp. 161-165, 2020.
- [18] Dr. Rajib Subba, "Collective intelligence and international coordination: antidote for the novel biological zero-day exploit #COVID-19", *Security Nexus Perspectives*, 2020. [Online]. Available: <https://apcss.org/wp-content/uploads/2020/04/Security-nexus-subba.pdf>
- [19] D. Kiwia, A. Dehghantaha, K.-K. R.Choo and J. Slaughter, "A cyber kill chain based taxonomy of banking Trojans for evolutionary computational intelligence", *Journal of Computational Science*, vol. 27, pp.394–409, 2018.
- [20] P. Peris-Lopez and H. Martín, "Hardware Trojans against virtual keyboards on e-banking platforms – A proof of concept", *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 76, pp.146–151,2 017.
- [21] N. Tariq, "Impact of cyber-attacks on financial Institutions", *Journal of Internet Banking and Commerce*, vol. 23, no. 2, pp 1-11, 2018.
- [22] V. Chebyshev, F. Sinityn, D. Parinov, B. Larin, O. Kupreev, E. Lopatin, "IT threat evolution Q1 2019. Statistics",2014. [Online]. Available: <https://securelist.com/it-threat-evolution-q2-2019-statistics/92053/>
- [23] J. Woodbridge, H. S. Anderson, A. Ahuja and D. Grant, "Predicting Domain Generation Algorithms with Long Short-Term Memory Networks", *Applied Sciences*, vol.9 no. 20, 2019. DOI:10.3390/app9204205.
- [24] W. G. J. Halfond, J. Viegas and A. Orso, "A Classification of SQL Injection Attacks and Countermeasures", in *Symposium on Secure Software Engineering (ISSSE 2006)*, 2006.
- [25] Akamai Research, "Financial Services - Hostile Takeover Attempts", *State of the internet security*, vol 6, no. 1, 2020.
- [26] M. Jensen, N. Gruschka and N. Luttenberger, "The Impact of Flooding Attacks on Network-based Services" in *Third International Conference on Availability, Reliability and Security, Barcelona*, 2008, pp. 509-513.
- [27] B. B. Gupta and O. P. Badve, "Taxonomy of DoS and DDoS attacks and desirable defense mechanism in a Cloud computing environment", *Neural Computing and Applications*, vol. 28, no.12, pp. 3655–3682, 2016.
- [28] McAfee Labs, "Mirai, BrickerBot, Hajime Attack a Common IoT Weakness | McAfee Blogs," 2017. [Online]. Available: <https://cutt.ly/UyxiQ9F> [Accessed: Apr 17, 2020].
- [29] S. Kamiya, J.-K. Kang, J. Kim, A. Milidonis and R. M. Stulz, "Risk management, firm reputation, and the impact of successful cyberattacks on target firms". *Journal of Financial Economics*, 2020. DOI:10.1016/j.jfineco.2019.05.019 2020.
- [30] M.S. Gordon, "Economic and National Security Effects of Cyber Attacks Against Small Business Communities", ProQuest Dissertations Publishing, 2018. [Online]. Available: <https://cutt.ly/WyxiRfu>
- [31] B. Genge, I. Kiss, and P. Haller, "A system dynamics approach for

- assessing the impact of cyber attacks on critical infrastructures”, *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, vol 10, pp. 3–17. 2015. DOI:10.1016/j.ijcip.2015.04.001.
- [32] M. A. Salitin and A. H. Zolait, “The role of User Entity Behavior Analytics to detect network attacks in real time” in 2018 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT), 2018, pp. 1-5.
- [33] A. Saravanan and S. S. Bama, “A Review on Cyber Security and the Fifth Generation Cyberattacks,” *Orient. J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 12, no. 2, pp. 50–56, 2019.
- [34] IBM, “Inteligencia artificial para una ciberseguridad más inteligente - España”, 2020. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/es-es/security/artificial-intelligence>. [Accessed: May 5, 2020].
- [35] INCIBE, “¿Ya tienes tu Plan de Recuperación ante Desastres?,” 2019. [Online]. Available: <https://www.incibe.es/protege-tu-empresa/blog/tienes-tu-plan-recuperacion-desastres>. [Accessed: May 5, 2020].
- [36] Centro de estudios EY, “Global Information Security Survey, 9 de cada 10 empresas no cuentan con el presupuesto necesario para protegerse contra los ciberataques,” 2019. [Online]. Available: <https://cutt.ly/YyxoqEY> [Accessed: Apr 17, 2020].
- [37] Eleven Paths, “La importancia de la ciberseguridad en las Pymes” 2019. [Online]. Available: <https://empresas.blogthinkbig.com/importancia-ciberseguridad-pymes/>. [Accessed: Apr 29, 2020].
- [38] J. Mesa, “IoT Dispositivos IoT dentro de la empresa : escenarios de ataque y protección”, *Red Seguridad*, no.84, pp. 18–19, 2019.
- [39] Gartner, “Security Information and Event Management (SIEM)”, 2020. [Online]. Available: <https://cutt.ly/yxotmu> [Accessed: Apr 22, 2020].
- [40] Gartner, “Magic Quadrant for Security Information and Event Management,” 2020. [Online]. Available: <https://cutt.ly/Zyxoiy8> [Accessed: Apr 22, 2020].
- [41] J. Burton, I. Dubrawsky, V. Osipov, C. T. Baumrucker and M. Sweeney, “Introduction to Intrusion Detection Systems” in *Guide to secure intrusion detection systems*, Elsevier, 2003, pp. 1-38. [Online]. Available: <https://cutt.ly/ayxooFL> [Accessed: Apr 22, 2020].
- [42] A. Boukhamla and J. Coronel, “Cicids2017 dataset: Performance improvements and validation as a robust intrusion detection system testbed”, *International Journal of Information and Computer Security*, 2018.
- [43] H. Holm, “Signature based intrusion detection for zero-day attacks: (not) a closed chapter?” in 2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences, HICSS, IEEE Computer Society, 2014, pp. 4895-4904, 2014.
- [44] V. Jyothsna, “A Review of Anomaly based Intrusion Detection Systems”, *International Journal of Computer Applications*, no.28 , pp.26-35, 2011.
- [45] N. D. Pantoja, S. A. Donado and K. M. Villalba, “Selección de indicadores para la implementación de un IDS en pymes”, *RISTI*, no. E27, pp. 777–786, 2019.
- [46] J. Waite, “Security Tools for the SMB and SME Segments”, *SANS Institute Information Security Reading Room*, 2017.
- [47] O. Elezaj, S. Y. Yayilgan, M. Abomhara, P. Yeng, and J. Ahmed, “Data-driven intrusion detection system for small and medium enterprises,” in *IEEE Int. Work. Comput. Aided Model. Des. Commun. Links Networks, CAMAD*, pp. 1–7, 2019.
- [48] N. Vakakis, O. Nikolis, D. Ioannidis, K. Votis, and D. Tzovaras, “Cybersecurity in SMEs: The smart-home/office use case”, 2019 *IEEE 24th Int. Work. Comput. Aided Model. Des. Commun. Links Networks, CAMAD*, pp. 1–7, 2019.
- [49] I. Moles, “Ancert: aplicación de técnicas de machine learning a la seguridad”, *Repositorio institucional (O2)*, 2018. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10609/88925>
- [50] Irvine, “KDD Cup 1999 Data,” 1999. [Online]. Available: <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99.html>. [Accessed: Apr 17, 2020].
- [51] J. M. Rodríguez, “Aplicación de técnicas de Machine Learning a la detección de ataques”, *Repositorio institucional (O2)*, 2018. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10609/81126> [Accessed: Apr 17, 2020].
- [52] J. Dheeraj and S. Gurubharan, “DDoS Mitigation Using Blockchain”, *Int. J. Res. Eng. Sci. Manag.*, vol. 1, no. 10, pp. 622–626, 2018.
- [53] P. Aaby, “Evaluating Web App Datasets towards Detection of SQL Injection Attacks with Machine Learning Techniques”, 2016. [Online]. Available: <https://cutt.ly/fyxosIm> [Accessed: Apr 17, 2020].
- [54] C. R. Raïssi, J. Brissaud, G. Dray, P. Poncelet, M. Roche and M. Teisseire, “Web Analyzing Traffic Challenge: Description and Results”, in *The 18th european conference on machine learning and The 11th european conference on principles and practice of knowledge discovery in databases*, 2007, pp.47-52.
- [55] A. Joshi and V. Geetha, “SQL Injection detection using machine learning” in 2014 *Int. Conf. Control. Instrumentation, Commun. Comput. Technol. ICCICT*, 2014, pp. 1111-1115.
- [56] M. Hasan, Z. Balbahaith and M. Tarique, “Detection of SQL Injection Attacks: A Machine Learning Approach” in 2019 *Int. Conf. Electr. Comput. Technol. Appl. ICECTA*, 2019, pp.1-6.
- [57] M. A. Mohd Yunus, M. Zainulariff Brohan, N. M. Nawi, E. S. Mat Surin, N. Azwani Md Najib and C. W. Liang, “Review of SQL Injection : Problems and Prevention”, *JOIV Int. J. Informatics Vis.*, vol. 2, no. 3–2, p. 215, 2018.
- [58] M. Tmiezh, “A Framework for securing web applications against injection attacks using Blockchain technology”, 2018, [Online]. Available: <http://scholar.ppu.edu/handle/123456789/935>. [Accessed: Apr 17, 2020].
- [59] OSINT, “Feeds from Bambenek Consulting,” 2019. [Online]. Available: <https://osint.bambenekconsulting.com/feeds/>. [Accessed: Apr 17, 2020].
- [60] S. Hochreiter and J. Schmidhuber, “Long Short-Term Memory”, *Neural Comput.*, vol. 9, no. 8, pp. 1735–1780, 1997.
- [61] F. Bisio, S. Saeli, P. Lombardo, D. Bernardi, A. Perotti and D. Massa, “Real-time behavioral DGA detection through machine learning” in *Proc. - Int. Camahan Conf. Secur. Technol.*, 2017, pp. 1–6.
- [62] Deloitte, “Pasos a seguir ante un ataque informático”, 2020. [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/legal/articles/Pasos-a-seguir-ante-un-ataque-informatico.html>. [Accessed: Apr 24, 2020].
- [63] Deloitte, “Los riesgos ocultos de un ciberataque,” 2020. [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/es/es/pages/governance-risk-and-compliance/articles/los-riesgos-ocultos-de-un-ciberataque.html>. [Accessed: Apr 30, 2020].
- [64] Red Hat, “Manual de seguridad: Detección de intrusos,” 2005. [Online]. Available: <http://web.mit.edu/rhel-doc/4/RH-DOCS/rhel-sg-es-4/ch-detection.html>. [Accessed: Apr 24, 2020].
- [65] P. Cichonski, “Computer Security Incident Handling Guide : Recommendations of the National Institute of Standards and Technology”, *NIST Spec. Publ.*, vol. 800–61, p. 79, 2012.
- [66] Bluegrass Group, “Containment,” 2020. [Online]. Available: <http://cybersecurityawareness.uk/recover/containment/>. [Accessed: May 4, 2020].
- [67] Kaspersky, “Incident Response Guide Contents,” 2017. [Online]. Available: <https://cutt.ly/5yxojnV> [Accessed: May 4, 2020].
- [68] Inforges, “CiberSOC: Gestión y monitorización de la seguridad informática en las empresas - Inforges”, 2019. [Online]. Available: <https://cutt.ly/ByxovlC> [Accessed: Apr 30, 2020].
- [69] Forcepoint, “What is Deception Technology? Deception Technology Defined and Explored” 2019. [Online]. Available: <https://www.forcepoint.com/cyber-edu/deception-technology>. [Accessed: Apr 24, 2020].
- [70] K. Kurra, B. Panda, W. N. Li, and Y. Hu, “An agent based approach to perform damage assessment and recovery efficiently after a cyberattack to ensure E-government database security” in *Proc. Annu. 2015 48th Hawaii Int. Conf. Syst. Sci.*, pp. 2272–2279, 2015.



Miguel Ángel López

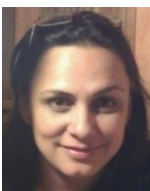
Has a degree in Engineering in Technical Engineering in Computer Systems from the University of Almería, graduates in Computer Engineering and Master in Softcomputing and Intelligent Systems from the University of Granada. Currently he is CTO. at Fidesol where performs different roles on the projects. His research focuses on distributed systems, management, integration and analysis of data, robotics, fuzzy logic systems, and the development of virtual reality environments for different purposes.



Juan Manuel Lombardo

PhD in Computer Science from the Pontifical University of Salamanca, was graduated in Economics and Business Administration in the University of Granada, Spain, Diploma of Advanced Studies (DEA) in Economics from UNED, Research Sufficiency in Business Science from the Complutense University of Madrid and Diploma of Advanced Studies (DEA) in Sociology from the Pontifical

University of Salamanca. He is CEO at Fidesol and Professor at Andalusia Business School. Dr. Lombardo is the author of numerous articles and research papers published in journals and books of national and international conferences. Visiting Professor at the Private Technical University of Loja (UTPL Ecuador), The National University of the Northeast (Argentina), University Francisco José de Caldas (Colombia), Catholic University of Colombia, Catholic University of Ibarra (Ecuador), University of Lisbon (Portugal) and National Engineering University (Peru). Member of the Knowledge Management committee of AEC (Spanish Association for Quality) and the Institute CICTES (Ibero-American Centre on Science, Technology and Society).



Mabel López

Has a degree of Computer Science Engineering. She is Knowledge Manager at Fidesol. Participates in the research and development strategy of this entity, technology transfer and analysis of technological trends, such as big data, internet of things, virtual reality, cognitive engines, machine learning, etc. Currently, she is involved in several R & D projects related to the mentioned technologies.



Carmen María Alba

Degree in Information and Documentation at the University of Granada and web development technician specialized on Python. Currently, I am a document management in IASEC project and researcher in technologies as Big Data, Machine Learning and Blockchain.



Susana Velasco

Has a Technical Engineer in Computer from the University of Granada. In the past, she worked in manufacturing, financial and service sector enterprises as software engineer and analyst programmer. Her research interests include quality assurance, software quality management systems, Ambient Intelligence (AmI) systems and devices, and new generation of ICT technologies.



Manuel Alonso Braojos

Degree in Computer Science Engineering at the University of Granada. Currently he is a researcher at Fidesol where performs the role of fullstack software developer. He has participated in the development of various internet applications with different languages and technologies. His final degree work was an application for the representation of bibliometric data.



Marta Fuentes García

Holds a PhD in Information and Communication Technologies by University of Granada. She studied Computer Science and has a Master Degree in Software Development from the University of Granada. Her research has been mainly related to anomaly detection and diagnosis both in industrial processes and network traffic. Her PhD is focused in anomaly detection for network security using multivariate data analysis. She also has work experience in different companies as a programmer and, nowadays, she is part of the research team at Fidesol.



*Información del artículo*

Título	CreaMe: human augmentation platform for the creation of training in educational lakes inherent to dangerous situations
Autores	Miguel Angel Lopez(1), Juan Manuel Lombardo (1), Rubén Gonzalez Crespo(2)
Afiliaciones	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fundación I+D del Software Libre (FIDESOL), Granada (España)</li> <li>2. Universidad Internacional de la Rioja, Logrono (España)</li> </ol>
Congreso	2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)
Editorial	IEEE
Volumen	1
Páginas	797-806
Año de publicación	2021
DOI	10.1109/EDUCON46332.2021.9453989
Impact Score	1,5
Áreas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Education</li> <li>2. Engineering (miscellaneous)</li> <li>3. Information Systems and Management</li> </ol>
Rank	11946

# CreaMe: human augmentation platform for the creation of training in educational lakes inherent to dangerous situations

1<sup>st</sup> Miguel Angel López.

*Fundación I+D del software libre*  
Granada, Spain  
orcid.org/0000-0002-1542-8873

2<sup>nd</sup> Lombardo, J.M

*Fundación I+D del software libre*  
Granada, Spain  
jmlombardo@fidesol.org

3<sup>rd</sup> Rubén González-Crespo

*dept. name of organization (of Aff.)*  
*Universidad Internacional de la Rioja*  
Logroño, Spain  
orcid.org/0000-0001-5541-6319

**Abstract**—Human Augmentation is a field of science that seeks to improve human capabilities and productivity through the application of technologies. The prevention of occupational risks is one of the areas where such technologies may make a valuable contribution. In this paper, we introduce CreaMe, a platform with the ability to create immersive virtual experiences. The objective is to create training content quickly and at a low cost by employing human augmentation technologies to transfer theoretical principles into real work. Data from the pilot experience are also presented. We collected over 280 minutes of virtual experiences by using CreaMe in 3 different training lessons. Following the pilot experience, we analysed variables on the evolution of knowledge about occupational risks, improvement of general user knowledge, user satisfaction with the new virtual experience, and the user's ability to use the virtual environment. We can point out that 83.18% of users successfully completed tasks, and 92.13% of users rated post-experience satisfaction very positively. Also, CreaMe was deemed a tool that can contribute to the prevention of occupational risks and, therefore, to workers' wellbeing, health, and productivity in any industry. The development of CreaMe will also allow for the application of human augmentation in the prevention of occupational risks from any work that may pose a hazard to the worker.

**Index Terms**—human augmentation, virtual reality, e-learning, occupational risk prevention, education.

## I. INTRODUCTION

Human Augmentation (HA) is a field of science that focuses on how we can use technology to improve human capabilities and productivity [1]. While in human enhancement research the objective is to alter the human body to enhance the physical or mental capacities beyond its natural skills [1], researchers focused on human augmentation are trying to improve the capacity or productivity of physical and mental abilities [2]. Human augmentation is not a singular concept or technology but a field of study where various areas of knowledge such as electronics, electromechanics, medicine, and computer science, can be identified. Rasiano defines human augmentation as "an interdisciplinary field that addresses methods, technologies and their applications for enhancing sensing, action and/or cognitive abilities of a human. This is achieved through sensing and actuation

technologies, fusion and fission of information, and Artificial Intelligence (AI) methods" [3]. This author identifies three main categories in human augmentation applications: augmented senses, augmented action, and augmented cognition. Using this categorisation, virtual reality and virtual interaction are included in the first category "augmented senses." In this field, we can find some research whose main objective is to study how we can help people with ear diseases, or human disabled [4] [5]. Within human augmentation we also find a series of works on wearables [6], which allow its user to improve, modify or change the way they interact with the environment, for example in the interaction with machines or the remote control of robots [7]. In this article we focus on the application of the HA in the use of technologies in the field of training and education, with particular emphasis on the learning and training of technicians and operations within the industry. The application of technology in the prevention of occupational risks has evolved from the use of "serious games" aimed at learning different important concepts, along with computer simulators or the latest developments in the realm of virtual reality. In this sense, we can find several uses of virtual reality. For example, Rahmalan describes virtual fire-fighting training in the industry [8], and Pitana presents a new approach to the training of new building fire-control auditors [9], among others. However, studies in this field offer a solution that cannot be applied to other facets, i.e. it acts on a single problem. This is due to the current high cost of HA technologies, which compels to narrow the scope of application [3] [9], and hinders their widespread use in the industry [10] [11] [12]. Therefore, it is necessary to harness the capability required to create virtual experiences that, on the one hand, provide relevant training content for the prevention of occupational risks and, on the other, the cost incurred allows for widespread implementation. CreaMe has been built to account for the deficiencies of the current methods. CreaMe is a platform for creating immersive virtual experiences that aim to create training content, quickly and at a low cost, by applying human augmentation technologies to fill the gap between occupational risk prevention theory and

actual work. It is a new cloud computing platform that integrates HA technologies, devices such as virtual reality glasses, handsets, or mixed reality devices. So, CreaMe represents a novel learning experience. CreaMe is a high-level content-creation tool, i.e., it employs predefined components that can be configured and parameterised for each of the lessons. This tool allows users to create a new virtual learning experience quickly, which allows for lower cost, one of the most important obstacles in generalising human augmentation in education and industry [3] [9]. This article is structured as follows: the background presents the hypothesis approach. Then, the methodology used for the development of the platform and the pilot experience are described. The results obtained are shown below. These results are finally discussed and the main conclusions, limitations and future lines of research are presented.

## II. BACKGROUND

Virtual Reality is a field of science prior to human augmentation. In the literature, we can find research pursuing some objectives and applications in realms such as entertainment [13], medicine [14], engineering [15], or learning [16]. Nowadays, we can find many new virtual reality devices like the new Oculus Quest. These new devices can provide high-end experiences without linking to the computer and with significant computing power. Therefore, it shows a virtual world with high graphical and detail quality, so users live this experience as if they were in the real world. One of the essential uses of virtual reality is education, where this technology is employed at all educational levels. The number of research papers dealing with virtual reality application in education has increased between 2017 and 2019, a period with 457 articles published. This number accounts for 34.80% of all virtual reality research papers [17]. Such an increase was mainly due to introducing new technologies such as virtual reality, augmented reality, or educational video games [18], which are better received by students [19]. It has been widely demonstrated that technology helps to successfully apply new techniques and learning methods, specifically with the application of virtual reality [20]. In this study, we also focus on virtual reality and have designed an interface to allow users to interact in the virtual world. The Educational Virtual Reality Games (EVRGs) have proven invaluable tools to develop applications at all educational levels [21]. Thus, in this research field, we can find several works that deal with learning, addressing several subjects such as spatial skills [22]. Other research concludes that the measure of student satisfaction increases with new technologies [23]. On the other hand, to study the cases of older students, we analyse Al-Gindy's work where he applied a virtual reality educational experience to learn the water cycle [24]. Yi-Chun conducted a study in which virtual reality is used to learn human anatomy in the medical degree [25]. In addition, these authors compare the single-player experience against the competitive multiplayer experience. Another application in university education is Porter's work, which shows the advantages of using virtual reality in

electrostatic-related subjects [26]. Lombardo's article [27] is a study in which virtual reality is employed in a medical case to help Parkinson patients with freezing symptoms. Research on training, learning and education, closer to the main objectives of this research, are those that use virtual reality to improve training in risky jobs, or the use of this technology in learning to prevent occupational risks. Researchers like Wan are studying a new application to fight against occupational accidents [11], making use of virtual reality to expose the user to training in safety inspection and emergencies in oil deposits. This work highlights the improvements in productivity and quality in tasks performed by workers trained by virtual reality. Mei Li proposes a learning experience with virtual reality for coal miners; the results show that it is a useful tool for safety training in coal mines [28]. Feng Bin's work uses virtual reality glasses and new vibration simulation devices together [12]. In this way, Fen Bin can expose users to a new experience closer to the real world. Its main objective is to train workers on the risks they may face in some tasks on construction works. Another research on virtual reality applied to training in occupational hazards is that of Sayali Joshi [29]. In this paper, the author proposes a new training in the concrete prefabricated industry to help workers prevent health risks from exposure to chemicals. Another research is the one conducted by Dávila [10]. It shows numerous applications of virtual reality in educational subjects and what is needed to apply a universal protocol to the use of virtual reality in education. Based on the analysis of the state of the art, we can argue that there is a basis that supports the use of HA and VR for learning new tasks as well as training in the prevention of occupational risks. Within the industrial field, the actions taken have always focused on a particular task or set of tasks. This is due to the high cost that entails performing such actions [10] [11] [12]. Taking this into account and with the aim of improving the safety and health of workers to reduce the "lake" or "gap" between the theoretical and practical training of preventing occupational risks and the actual performance of work, the authors propose the following hypotheses:

- H0: The use of HA and VR allows the creation of a platform that helps to develop experiences quickly and cheaply, thus helping its implementation in the industry.
- H1: The virtual experiences developed with CreaMe will enable improved training in occupational risk prevention.

## III. METHOD

Our first goal is to develop a content-creation tool that enables us to create new virtual experiences to bridge the gaps detected in its application in education. The process of creating virtual experiences will be faster and will yield higher quality. Once the development stage is complete, we use CreaMe to verify its use in creating new virtual learning experiences in risk prevention training compared to traditional methods, for which a pilot experience is conducted.

### A. CreaMe's features

CreaMe is designed as a platform that encompasses a set of solutions (technologies, algorithms, devices, etc.) that work together to achieve a common goal. In the first step of planning and analysis, a twofold point of view is used: (1) to define all the requirements to verify that you meet the proposed requirements; and to ensure that CreateMe provides a solution to a particular problem. The result of this planning stage is a set with the following requirements:

- The virtual reality experiences created by CreaMe should be independent of the human augmentation technology or the devices that can run it: CreaMe and these experiences should use the abstract layer to allow it to run on any device.
- Virtual reality experiences with CreaMe should be easy-to-use so that any user with no prior training can take advantage of it quickly: Its use should be more like a design tool than a programming one such as Eclipse or Visual Studio.
- The virtual experience created by CreaMe should be analysed by students and teachers: CreaMe must be able to save all user actions that may occur during the experience.
- CreaMe should have a cloud computing architecture: All services should be developed for cloud computing.
- The virtual experience should be run without any previous installation: Any device with CreaMe should be able to download any experience and the cloud from CreaMe should send a startup message to the device without having been previously installed on it.
- CreaMe's platform and virtual experiences need to be built to work as reliably as possible as cybersecurity is concerned: Cybersecurity is a critical issue in any technical solution [30], so action must be taken. All requests and responses are authenticated and authorised. CreaMe should be able to self-detect and recover from these threats [31]

Based on these requirements along with the achievement of the hypotheses raised, CreaMe can be presented as the platform of human augmentation for training workers and bridging the existing educational gaps or those specific to situations of danger. CreaMe is composed of a set of modules that work together to achieve a unique and complex solution.

- CreaMe Content Toolkit (CCT). Designed the same as Unity 3D plugin, it is a set of content-creation tools and a core element in the CreaMe platform. CCT solves the cost problem to build new experiences, one of the most critical points affecting the adoption of virtual, augmented or mixed reality, or other type of human augmentation technology in training or learning. The CCT consists of a set of tools and components to generalise a large number of interactions between the component in the virtual world and the user. This generalisation also allows for a reduction in development time.

- CreaMe SaaS. It has been deployed in the IBM cloud and is the core of the workflow in virtual experiences. CreaMe SaaS is the hub of all the interaction between a virtual experience in CreaMe and the different information sources, the database, and the knowledge repository. The architecture of CreaMe is based on microservices. The reasons for selecting this architecture are: Microservice enables easy horizontal scalability and Virtual Reality learning as a Service (VRaaS) using virtual reality glasses. At the moment it only works with devices from the Oculus Rift family.
- CreaMe App. It is the centre of all external devices such as phone, mobile, etc., and CreaMe SaaS when it runs on virtual reality glasses. CreaMe App renders the virtual world. The data used to render the virtual world comes from CreaMe SaaS. CreaMe App manages all requests to the cloud using API Rest invocations with JSON. As a result, the computing resources of the CreaMe App are minimised, allowing virtual learning experiences to be run with a 60 Frame per Second (FPS).

These three modules are integrated as shown in Fig. 1. Thus, the CCT is used by content makers and creators to build new virtual learning experiences. Once the content is created, it is published in CreaMe SaaS so that any teacher or student can access the content. When a student performs a virtual experience from any device with the CreaMe App, this app accesses the CreaMe SaaS and downloads a descriptor file of the virtual experience, which is a JSON file where we could find all the information about the virtual experience such as: 3D assets to render, interactive components, audio files, etc. When the descriptor has been downloaded and processed, the experience can be started, so we focus on the workflow of the virtual learning experience. Fig. 2 shows how the device, the user, and CreaMe SaaS interact. The user perceives the information as part of a virtual environment because CreaMe App converts this information into an item such as any component, an audio file, or any other. The user can interact with the environment and continue their experience that is likely to require new requests, etc. Sometimes this interaction is basic in the manner of the physical behaviour of a 3D asset or any other trivial behaviour for which CreaMe App processes these interactions without invoking the CreaMe SaaS.



Fig. 1. CreaMe's modules and their basic interaction

### B. The pilot experience

The H1 hypothesis aims to determine whether knowledge on prevention of occupational risks can be provided using virtual

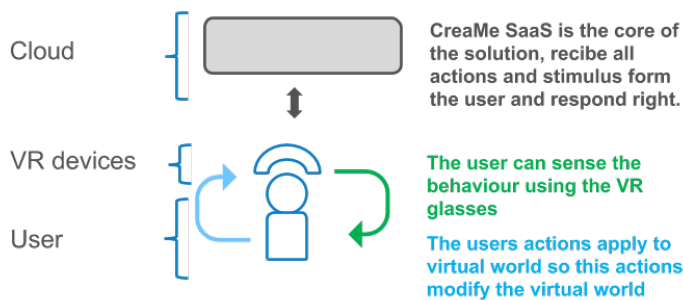


Fig. 2. Draft of CreaMe's workflow

experience so that students can have a more efficient method of learning. The pilot experience is intended to test whether the platform CreaMe validates the H1 hypothesis. The authors build three lessons in the virtual experience with CCT and check the level of usefulness and satisfaction of the students. These lessons are as follows:

- Lesson 1. Welding training. In this training, the student must weld two plates in the same way as in the practice of their profession. This lesson has 2 workplace risk tasks.
- Lesson 2. Going down to the sewers. In this experience, the user performs the necessary actions to prepare a descent into a confined space, usually by a sewer or a duct. This lesson has 8 workplace risk tasks.
- Lesson 3. Maintenance in confined spaces. In this training exercise, the user is inside a confined space with elements to train the feeling of claustrophobia, where he must carry out preventive maintenance measures and actions. This lesson has 7 workplace risk tasks.

The pilot experience uses the three virtual experience lessons. The selected devices are Oculus Rift Quest 2 in combination with its headset. Users have different technological skills, ages, and spatial abilities. Finally, when the user finishes the virtual experience, they complete a short questionnaire of their impression on the virtual experience [32]. The goal is to analyse how the user's ability improves after three or more iterations of the same lesson. Each iteration with the three lessons is a phase, so the pilot experience has three phases. The study sample consists of 113 virtual experiences distributed among the three different lessons. The number of students performing the pilot experience is 13, of whom 7 were men and 6 were women. However, gender is not considered in this study because it is irrelevant to the use of technology [33]. In selecting students for the pilot experience, people with no previous experience in the tasks to be performed in the virtual learning experience have been selected.

### C. Data structure of the pilot experience

To achieve the objective of the pilot experience it is necessary to study the user behaviour. A set of variables have been selected to analyse user's actions in virtual experiences. So, for each user's action during the virtual experience we know: the time of execution; if this event is a goal; the state of the

target, for example, success or failure. We can compose the event data to determine how long the user spent preparing for or how many occupational risk events he did correctly. All information has been grouped into 4 categories.

1) *Variables about workplace risk knowledge evolution:* these variables analyse how students improve their knowledge on occupational risk prevention thanks to the virtual learning experience of CreaMe. These variables are: the number of successful workplace risk tasks (Goal.Wp.R) and the time taken by the user to perform them (T.Wp.R).

2) *Variables about the user improve in general knowledge:* in this category we study how the user improves their knowledge through the virtual learning experience. Thus, we use all the events of the experience instead of only using occupational risk events. The variables considered are: the result of the experience (Goal) and the time spent by the user on the virtual learning experience (TT).

3) *Variables about user's satisfaction of the new virtual experience:* once the virtual learning experience has been completed, users complete the satisfaction questionnaire. The questions are: "Did you find it a good way to acquire the content?", "Did you find it easy-to-use?", "Has it been difficult for you to understand what you had to do?". These questions have a numerical answer with a range from 0 to 10. Thus, in the first question, 0 indicates that virtual experience is an inadequate solution, 10 means that virtual experiences of CreaMe are excellent learning tools. In the second question, the 0 means that the virtual experience is a very complicated tool, so 10 means it is a very easy-to-use tool. In the last question, a value of 0 means that the user encountered a major problem in understanding the virtual world and the task to be performed, while 10 means that the user did not encounter any problems.

4) *Variables about the user's skill to use the virtual environment:* from data on how the user interacts with the environment, we measure user's ability to use the virtual learning experience, that is, to use the virtual experience as a learning tool. The variables analysed are: the time the user spends preparing, that is, the time between the start of the virtual experience and the click of the start button by the user (T.Adap) and the number of virtual experiences aborted (N.Abort). In addition to these variables, the satisfaction questionnaire has two questions for this category. These questions are: "Did you feel any signs of dizziness?" "Was movement fluid in the experience?" Both questions have a numerical answer ranging from 0 to 10. In the first question, the value 0 means that the user did not suffer any sign of dizziness and the value 10 that the user had a serious problem such as a fall or strong signs of dizziness. In the second question, the value 0 means that the user suffered a lot of freezing effect or other sign on malfunction, while the maximum value means a smooth experience without any problems.

### D. Learning Mechanics-Game Mechanics analysis

As part of the design of training lessons in the prevention of occupational risks, it is important to analyse how the matching

between concepts is, the learning mechanisms and how the game mechanics are performed. To this purpose, we use the LM-GM framework, for serious games analysis. The table below, self elaboration based on LM-GM framework [34], shows a representation of the LM-GM application to the lessons created with CreaMe.

TABLE I  
APPLICATION OF LM-GM A TO THE LESSONS CREATED WITH CREAME.

Game mechanics	Learning mechaninc	Implementation	Usage
Tutorial	Guidance	Initial scene of preparation and instruction to the student	Explanation of the reason and objective of the lesson
Feedback, Meta-Game, Realism	Analuse, Feed-back, Identify, Observation	Presentation of the possibility for the execution of the task	Analysis and Tool Selection
Movement, Progression, Simulation	Simulation, demonstration, Plan, Discovery	Open execution, user not guided	The student have to draw up a plan in line with the prevention of occupational risks
Rewards, Status	Motivation, Ownership	Activity Score	Awarding for the goal achieved and providing points of achievement

#### IV. RESULT

A total of 287.51 minutes of experimentation in virtual worlds were obtained from the pilot experience. Before presenting the data from the variable sets, the results of the entire sample are shown. Thus, Table II shows that 96 of the virtual learning experiences were successful (83.18%) and only 4 were aborted or cancelled (3.53%).

TABLE II  
RESULT BY LESSONS

Lesson	N	Success	Fault	Abort
lesson 1	37	36	0	1
lesson 2	42	27	15	0
lesson 3	34	31	0	3
total	113	94	15	4

##### A. Results of the evolution of workplace risk learning

In this case, we focused on the Goal.Wp.R and T.Wp.R variables to study the user's progression in workplace risk learning. For Goal.Wp.R., the maximum values reached for the three experiments are 2, 8 and 7, respectively. Fig. 3 shows the result of this variable representative of the success rate of the workplace risk task. So we get 67 experiences with 100% success. If we look at the number of experiences with a success rate in the workplace risk task of more than 75%, we see that

there are 93 of the 113 experiences. On the other hand, we can observe that the number of samples that have exceeded 75% of the occupational risk prevention tasks but have not finally passed the experience is 5.31% (6 experiences), all of them located in lesson 2. If we analyse the variable T.Wp.R., in Fig. 4 we can see that the time spent by the student decreases with experience. The reason may be that students improve their ability with virtual experiences. Another interesting graphic about the T.Wp.R. is shown in Fig. 5. This chart shows the means and medians T.Wp.R. of the students. Lesson 1 is done in less time compared to the others. It is also worth noting the difference between the mean and the median in lesson 2, which is 42%.

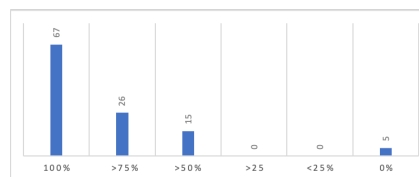


Fig. 3. Experiments distribution by rate of Goal.Wp.R

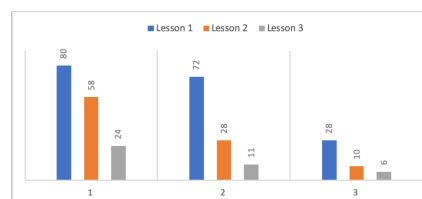


Fig. 4. T.Wp.R. of student 5

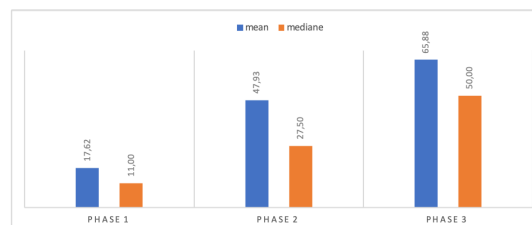


Fig. 5. Means and mediane in each phase

##### B. Results of user improve in general knowledge

Goal variable is studied in relation to the number of success cases in the pilot experience. A summary of this variable can be observed in Table II, and its representation by lessons in Fig. 6. In lessons 1 and 3 the success rate was over 90% and the rate of aborts was 3.53%. Lesson 2 is the most difficult as the data have shown. For the TT variable, which is the total time users spend on virtual experience, in Fig. 7 we find a relevant difference between lesson 1 and the others. In Fig. 8 we analyse the first execution of each lesson and observe that a similar amount of time is used since the values of the mean and the median are close. The value is 0.38%, 1.10% and

18.16% for each lesson, respectively. Lesson 3 has a higher value than others because lesson 3 has an outlier data. The difference between the mean and median value without this outlier data is 1.12%.

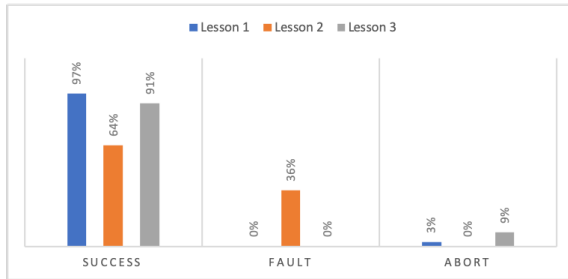


Fig. 6. Goal rate by lessons

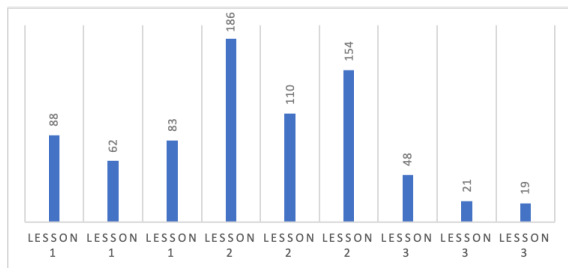


Fig. 7. T.T. of student 1

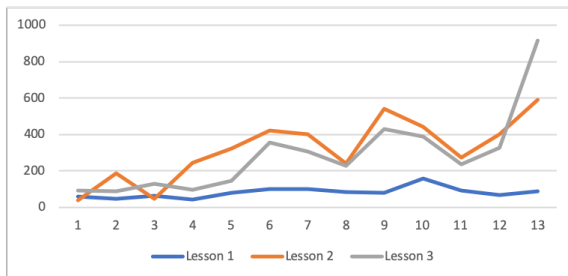


Fig. 8. T.T. from first executions each lesson

### C. Results of user's satisfaction

Students' satisfaction with virtual reality is measured using a questionnaire filled out by the student after each virtual experience. The first question concerns the quality of the virtual experience to learn about tasks with occupational hazards. From the complete sample, 42.48% obtained a score of 10, and again from the same complete sample 80.53% of the experiences obtained a score of 8 or higher. User ratings are shown in Fig. 9. The second question focuses on ease of use. 47.79% of experiences obtained a score of 10 and 80.53% of 8 or higher. The last question addresses the difficulty of understanding the virtual experience. We can observe in Fig. 10 that in this case 61.95% of the experiences get a 0, the best mark because users did not find any problem

to understand the virtual experience. Only 10.06% of virtual experiences got 7 or higher in this question.

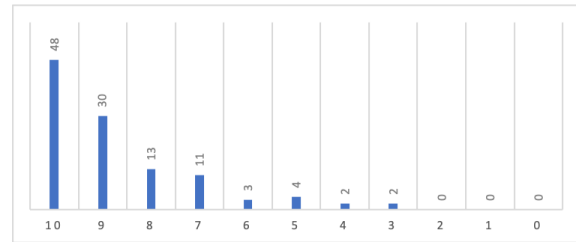


Fig. 9. Did you find it a good way to acquire the contents?

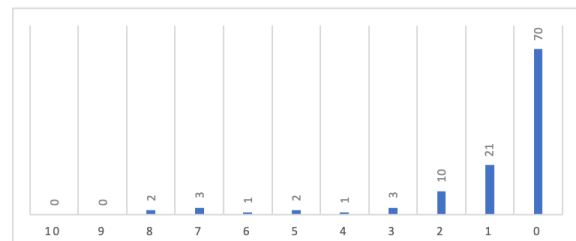


Fig. 10. Did you find it difficult to understand what you had to do?

### D. Results of user's virtual environment skill

The ability of students in the virtual environment is analysed with the variables T.Adap, N.Abort, and with two questions of the questionnaire. The total number of aborted experiences is 4. The relationship between an aborted experience and the feeling of dizziness is one of the most important problems for the new user in traditional virtual environments. In this pilot experience, only one of them had a Goal with abort and the score on the question about dizziness was 8. The student who needed to abort the experience was able to complete it later. For all other experiences, the value on the feeling of dizziness was 2 or lower in 83% of the cases, as we see in Fig. 11. Based on the above, we can conclude that the only case with this feeling is not representative in the sample. The experience had a score of 8 or higher. The T.Adap variable measures the time taken by the user to prepare for the experience. Table III presents the mean and median of T.Adap, and we observe the difference between these statistical values for each lesson. The most remarkable thing about this table is the similar values obtained for different lessons, because T.Adap is the user preparation time and this action is similar in all experiences.

TABLE III  
T.ADAP MEAN AND MEDIANE

Lesson	Mean	Mediane	—Mean - Mediane—
lesson 1	10.5945	7	0.3393
lesson 2	12.1190	8	0.3399
lesson 3	11.2353	6,5	0,4214

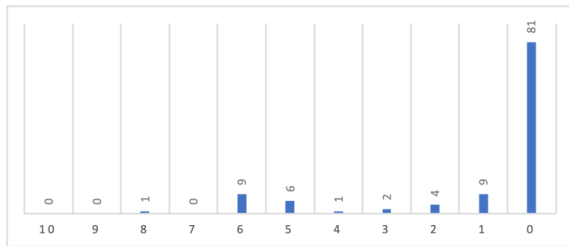


Fig. 11. Did you feel any signs of dizziness?

### E. Analysis of results

As discussed in the results section, experience has been successful at 83.18% of students. In addition, this rate increases to 90.91% in the last execution for each student. To improve the analysis, we introduced the phase division. The phase is the set of lessons. For example, phase 1 for a student is the first time they have ever done the three lessons of virtual experience, and phase 2 is the second time they have done the three experiences, and so on. So, we have three phases. Fig. 12 shows that 77% of the students successfully completed phase 3. It is important to note that all students (100%) get at least one successful experience in phase 3. Another important point to note is the representation of the variable TT shown in Fig. 13. It can be observed that the value of this variable has a decreasing slope, and that the difference between phases 3 and 2 is smaller compared to the difference between phase 2 and phase 1. This decreasing slope of the variable TT could be interpreted as an indicator of the students' skills improvement. Another important point is the low rate of aborted experiences, only 4 experiences were aborted and no student needed two opportunities. Table IV summarises the results of virtual experiences that resulted from abortion. In this case, it is worth noting that two of them were very close to the end, so it is possible to assume that it must have been a technical problem rather than a user problem with the experience.

TABLE IV  
DATA FROM THE EXPERIENCE WITH ABORT STATUS

id.student	Lesson	Phase	T.T (s)	T.Wp.R (s)	N.Wp.R
1	3	2	62	0	0
6	3	1	146	67	6
12	3	2	95	33	6
13	1	2	155	9	1

1) *Student's satisfaction*: In order to analyse students' satisfaction, we studied the data on the question "Did you find it a good way to acquire the contents? Summarised in Table V, we can see that at the end of the process, in phase 3, 92.31% of the students scored 8 or higher in the evaluation, that is, 92.31% said that CreaMe is a good tool to enhance learning. In the first phase, this indicator is only 53.85%, which shows an evolution of students following their own experiences.

2) *CreaMe as a good tool for teaching tasks with occupational hazards*: in the study of all experiences as a whole, the

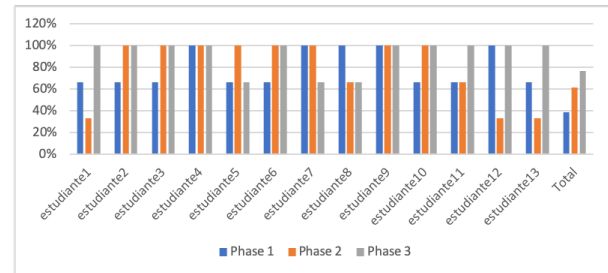


Fig. 12. Rate of students with at least one success by phase

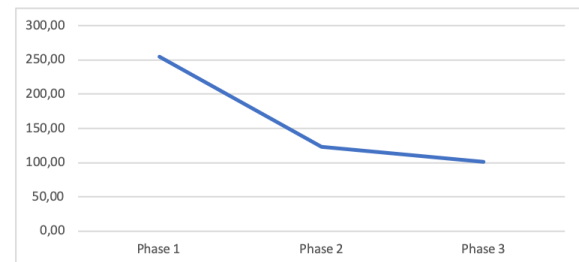


Fig. 13. T.T Mean by phase

compliance rate for all tasks with occupational hazards was 59.29%. This rate increases to 90.27% for experiences with 75% of the workplace risk task accomplished. We can study the time taken by the user to perform the workplace risk task, T.Wp.R. Fig. 14 represents how the time required to complete each phase decreases. In Table VI, we compared the T.Wp.R gradient against the TT gradient and the T.Adap gradient, and we found a slight difference. Only 0.46% of transition from phase 1 to phase 2, and 10.37% of transition from phase 2 to phase 3. It indicates a relationship between improving the user's ability to interact with the virtual world and improving the user's ability to solve tasks with occupational hazards.

3) *What does it mean for the student to use virtual reality as a new tool to learn new concepts?*: we now analyse whether the student spends extra significant time due to the use of the virtual experience. The first variable to study is T.Adap. In Fig. 15, the variables T.Adap with TT are compared and we find the slopes are very similar. It is a behaviour similar to

TABLE V  
AT LEAST ONE 8  $\zeta$  = IN SATISFACTION QUESTIONS

Phase 1	Phase 2	Phase 3
53.85%	76.92%	92.31%

TABLE VI  
ANALYSIS OF THE MEANS BY PHASES

	Phase 1 to phase 2	Phase 2 to phase 3
T.Wp.R mean	-0.5149	0.1580
T.T mean	-0.5173	-0.1763
Difference	0.0024	0.0183
Difference (%)	0.46%	10.37%



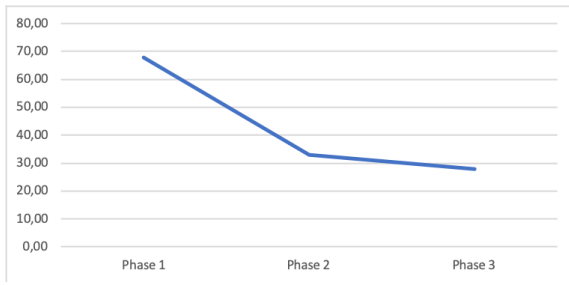


Fig. 14. T.Wp.R means by phase

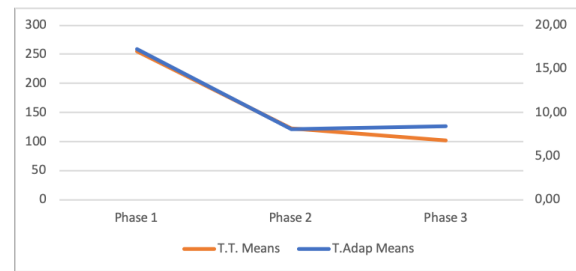


Fig. 15. T.T. means and T.Adap means comparison

the T.Wp.R. slope that was presented in the previous section. In T.Adap, the difference between the mean of phase 1 and the mean of phase 2 is 53.21%, so it is clear that the student learns how to use the experience very quickly. T.Adap is the only variable that is common in all three lessons, so we can analyse this variable without phase. In Fig. 16 we observe the mean slope of T.Adap for each execution order experience. In this graph, we find a significant decrease between the first experience and the second. In the T.Adap analysis in phases and sequential order we can detect a small increase in time. From phase 2 to phase 3, time increases by 4.49%, and in sequential order the increase between phase 8 and the last one was 43.36%. This is an important index, but the absolute time is 4.79 seconds, so this time is very low compared to the entire experience. Regarding the subjective sensations that students may experience in virtual reality training, issues related to dizziness and difficulty of use are analysed. Slight dizziness or discomfort is one of the points of attention of researchers in this area. By analysing the behaviour of dizziness sensation values, we can see in Fig. 17 that decreases from 1.57 in the first experience to 0.7 in the last one, which gives us 55.5% improvement as regards the feeling of dizziness. This indicates that the low feeling of dizziness falls below 1 in the third run. For the subjective issues of ease of understanding, simplicity of use and fluidity of movement, we analyse the figure in Fig. 18. Regarding the difficulty of use, we can observe the decrease in value, reaching a mean value in the last phase of 0.54, representing an improvement of 61.59% of the understanding of the first phase that was 1.41. We can observe an improvement between the first and last phases of 117% and 105% respectively. This slight improvement is due to the fact that they already started from two very good values in the first phase, being these 7.79 and 8.41 respectively.

#### F. Analysis of the Hypothesis

After analysing the results of the CreaMe with objective data and student satisfaction questionnaires, we proceed to analyse the results of the hypotheses. H0 is a hypothesis about the ability to create a platform to develop virtual experiences. As described in the article, the authors have created a platform that serves to create virtual experiences and distribute them on the same platform. We can therefore conclude that this hypothesis (H0) is supported. The H1 hypothesis aims to

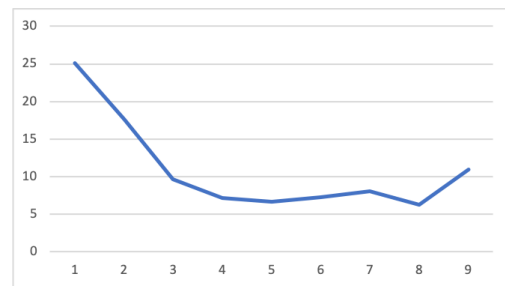


Fig. 16. T.Adap means by experience

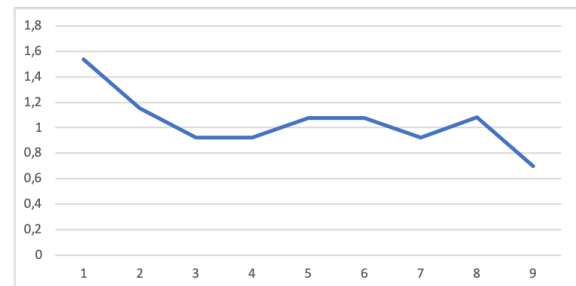


Fig. 17. Mean of dizziness score

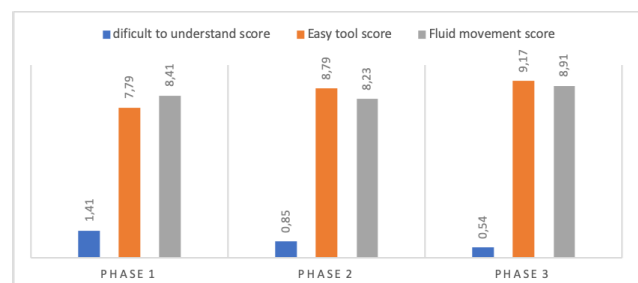


Fig. 18. Difficult to understand, easy tool and fluid move scores comparison

study whether the virtual experiences created with CreaMe are appropriate to teach students the prevention of occupational risks in their profession, as well as in any work with risk. According to the data collected, the experience has been very satisfactory for the students. All students have successfully completed, at least once, all experiences of workplace risk training and their assessment of the ease of use and opinion on the virtual reality method as a training material has been very positive. Therefore, based on the results we have reached, we can conclude that the H1 hypothesis is also supported.

## V. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

CreaMe is a technology platform that combines various technologies, devices, and algorithms of human augmentation. The main objective is to offer a new solution to create, distribute and implement different types of new human augmentation experiences to education and the training of prevention of occupational risks. CreaMe will be used to teach students lessons that would otherwise not be viable for cost or risk reasons. Techniques and technologies of human augmentation such as virtual reality have proved to have a great capacity as a tool for learning and supporting adherence to training content [21] [23] [25]. The applications of these technologies in the training of professionals have always focused on specific actions [10] [11] [12], because the application of these technologies is expensive and difficult to generalise [3] [9]. In this study, we have introduced CreaMe, a platform that aims to help solve cost problems and proposes new ways to train workers in the prevention of occupational risks in order to improve their safety and therefore their health and productivity at work. As we can observe with regard to student's satisfaction, the learning of users is rapid and satisfactory in the different phases of the pilot experience. Therefore, CreaMe is an interesting and useful training experience. From the study of the results in relation to the quality of the experiences carried out by CreaMe, users demonstrate the quality of this training, along with the low presence of feeling of dizziness or discomfort during in the lessons. Achieving this with CreaMe is a significant enhancement to current systems, as it is one of the issues of applicability of virtual reality in the industry [3]. In addition, CreaMe is a tool that builds virtual experiences that improve the acquisition of knowledge in the prevention of occupational hazards, which will favour safe and healthy work. Finally, the time and effort of learning decreases significantly with CreaMe. Therefore, we can conclude that CreaMe can be used as a tool to create training experiences with human augmentation technologies that help improve learning in the prevention of occupational risk by bridging the existing gap between traditional training and the execution of tasks in real environments. The speed and cost of building virtual experiences with CreaMe can help apply human augmentation and virtual reality as educational tools in the industry. The CreaMe platform offers the following advantages:

- Technological independence. The CreaMe platform has been designed to work with human augmentation tech-

nologies such as virtual reality, augmented reality, mixed reality, press gloves, phone, etc.

- CreaMe Content Toolkit. It is a tool to build new virtual experiences in a short time and eliminates the cost of creating a virtual learning experience with traditional technologies. CreaMe allows the implementation of the experience on any device.
- CreaMe platform is a solution that takes into account cybersecurity, albeit it is a mandatory requirement. CreaMe has been developed with the standards of cybersecurity in its code and employs the best protocols and algorithms to secure user data and detect hazards.
- Auditability of events. Event-based experience architecture allows it to be auditable by users outside the system, reproducible and analysable.
- Low computational cost. The need for computational operation in the CreaMe App is minimal as it moves these operations to the cloud. As a result, CreaMe App could work on multiple human augmentation devices.

Despite the results of CreaMe, this study is not without limitations. (1) Collaborative training. Many tasks require a team to run, and even the occupational risks are different if done individually or in teams. It is, therefore, necessary to study how the performance of multiple users in the same virtual world would affect learning. (2) Complete separation of the worker from their physical space. This space is sometimes critical to the execution of tasks, as can be the existence of large surfaces with separate monitors and actuators that involve moving the worker from one point to the other. (3) Means of interaction. Currently, the means to interact with the virtual world are limited to head and hands, which are used to estimate the position of the body but the legs and their movements remain outside the virtual world. Based on these limitations, we consider lines of research to be performed such as to study how we can introduce the training of multiple users to guarantee their independence in training and evaluation in a collaborative way. Add another human augmentation technology to CreaMe, for example, the mixed reality that will allow us to offer virtual training including information from the virtual and the real world. This would allow training to be developed in the workplace. Other possible lines of study focus on the applicability of CreaMe in other fields of activity such as educational centres or universities as it is the case of engineering or medicine students.

## VI. ACKNOWLEDGMENT

My thanks go to the team of researchers at Fidesol and the union who have supported this paper.

## REFERENCES

- [1] P. Moore, *Enhancing Me: the Hope and the Hype of Human Enhancement*, J. W. . S. Ltd, Ed., 2008.
- [2] B. Alicea, "An integrative introduction to human augmentation science," 2018.

- [3] R. Raisamo, I. Rakkolainen, P. Majaranta, K. Salminen, J. Rantala, and A. Farooq, "Human augmentation: Past, present and future," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 131, pp. 131 – 143, 2019, 50 years of the International Journal of Human-Computer Studies. Reflections on the past, present and future of human-centred technologies. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581919300576>
- [4] C. Cinel, D. Valeriani, and R. Poli, "Neurotechnologies for human cognitive augmentation: Current state of the art and future prospects," *Frontiers in Human Neuroscience*, vol. 13, jan 2019.
- [5] C.-J. Yang, B. Niu, and Y. Chen, "Adaptive neuro-fuzzy control based development of a wearable exoskeleton leg for human walking power augmentation," in *Proceedings, 2005 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*. IEEE.
- [6] K. Kunze, K. Minamizawa, S. Lukosch, M. Inami, and J. Rekimoto, "Superhuman sports: Applying human augmentation to physical exercise," *IEEE Pervasive Computing*, vol. 16, no. 2, pp. 14–17, apr 2017.
- [7] M. Maier, A. Ebrahimzadeh, and M. Chowdhury, "The tactile internet: Automation or augmentation of the human?" *IEEE Access*, vol. 6, pp. 41 607–41 618, 2018.
- [8] R. H., "Development of virtual reality training for fire safety education," *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, vol. 9, no. 4, pp. 5906–5912, aug 2020.
- [9] T. Pitana, H. Prastowo, and A. P. Mahdali, "The development of fire safety appliances inspection training using virtual reality (VR) technology," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 557, p. 012064, sep 2020.
- [10] J. M. D. Delgado, L. Oyedele, P. Demian, and T. Beach, "A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 45, p. 101122, aug 2020.
- [11] J. Wan, Y. Zheng, Y. Li, H. Mei, L. Lin, and L. Kuang, "Oil depot safety inspection and emergency training system based on virtual reality technology," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 782, p. 042018, apr 2020.
- [12] F. Bin, Z. Xi, C. Yi, and W. G. Ping, "Construction safety education system based on virtual reality," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 563, p. 042011, aug 2019.
- [13] C. A. Gómez, D. A. C. Carvajal, E. J. R. Zapata, and H. Villar-Vega, "A review of virtual reality videogames for job-training applications," *Revista CINETEX*, vol. 24, no. 1, pp. 64–70, dec 2019.
- [14] C. Pensieri and M. Pennacchini, "Virtual reality in medicine," in *Progress in IS*. Springer International Publishing, 2016, pp. 353–401.
- [15] J. Wolfartsberger, J. Zenisek, C. Sievi, and M. Silmbroth, "A virtual reality supported 3d environment for engineering design review," in *2017 23rd International Conference on Virtual System & Multimedia (VSMM)*. IEEE, oct 2017.
- [16] E. A.-L. Lee and K. W. Wong, "A review of using virtual reality for learning," in *Transactions on Edutainment I*. Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 231–241.
- [17] M.-D. González-Zamar and E. Abad-Segura, "Implications of virtual reality in arts education: Research analysis in the context of higher education," *Education Sciences*, vol. 10, no. 9, p. 225, aug 2020.
- [18] L. Sun, H. Ruokamo, P. Siklander, B. Li, and K. Devlin, "Primary school students' perceptions of scaffolding in digital game-based learning in mathematics," *Learning, Culture and Social Interaction*, vol. 28, p. 100457, mar 2021.
- [19] M. Y. An, K. A. Ko, and E. J. Kang, "Problems and directions of development through analysis of virtual reality-based education in korea," *International Journal of Information and Education Technology*, vol. 10, no. 8, pp. 552–556, 2020.
- [20] J. Motejlek and E. Alpay, "A taxonomy for virtual and augmented reality in education," 2019, pp. 1089–1100, cited By 0. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85073019953partnerID=40md5=9356e37fca4d6ae8fc512412996672e0>
- [21] S. S. Oyelere, N. Bouali, R. Kaliisa, G. Obaido, A. A. Yunusa, and E. R. Jimoh, "Exploring the trends of educational virtual reality games: a systematic review of empirical studies," *Smart Learning Environments*, vol. 7, no. 1, oct 2020.
- [22] M. J. Maas and J. M. Hughes, "Virtual, augmented and mixed reality in k–12 education: a review of the literature," *Journal of Technology, Pedagogy Education*, vol. 29, no. 2, pp. 231–249, mar 2020.
- [23] M. Cantabella, R. Martínez-España, B. López, and A. Muñoz, "A fine-grained model to assess learner-content and methodology satisfaction in distance education," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 6, no. 4, p. 87, 2020.
- [24] A. Al-Gindy, C. Felix, A. Ahmed, A. Matoug, and M. Alkhidir, "Virtual reality: Development of an integrated learning environment for education," *International Journal of Information and Education Technology*, vol. 10, no. 3, pp. 171–175, 2020.
- [25] Y.-C. Du, S.-C. Fan, and L.-C. Yang, "The impact of multi-person virtual reality competitive learning on anatomy education: a randomized controlled study," *BMC Medical Education*, vol. 20, no. 1, oct 2020.
- [26] C. Porter, J. Smith, E. Stagar, A. Simmons, M. Nieberding, C. Orban, J. Brown, and A. Ayers, "Using virtual reality in electrostatics instruction: The impact of training," *Physical Review Physics Education Research*, vol. 16, no. 2, sep 2020.
- [27] L. J. . L. M. . L. M. . M. F. . A. J. . A. D., "Mobeze. natural interaction technologies, virtual reality and artificial intelligence for gait disorders analysis and rehabilitation in patients with parkinson's disease," *IJIMAI (International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence)*, 2019.
- [28] M. Li, Z. Sun, Z. Jiang, Z. Tan, and J. Chen, "A virtual reality platform for safety training in coal mines with AI and cloud computing," *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol. 2020, pp. 1–7, oct 2020.
- [29] S. Joshi, M. Hamilton, R. Warren, D. Faucett, W. Tian, Y. Wang, and J. Ma, "Implementing virtual reality technology for safety training in the precast/ prestressed concrete industry," *Applied Ergonomics*, vol. 90, p. 103286, jan 2021.
- [30] J. F. Herrera-Cubides, P. A. Gaona-García, C. Montenegro-Mariín, D. Cataño, and R. González-Crespo, "Security aspects in web of data based on trust principles. a brief of literature review," *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*, 2019.
- [31] M. A. Lopez, J. M. Lombardo, M. López, C. M. Alba, S. Velasco, M. A. Braojos, and M. Fuentes-García, "Intelligent detection and recovery from cyberattacks for small and medium-sized enterprises," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 6, no. 3, p. 55, 2020.
- [32] M. Schrepp and J. Thomaschewski, "Design and validation of a framework for the creation of user experience questionnaires," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 7, p. 88, 2019.
- [33] K. Aufderhaar, M. Schrepp, and J. Thomaschewski, "Do women and men perceive user experience differently?" *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 6, p. 63, 2019.
- [34] T. Lim, "The lm-gm framework for serious games analysis," 2013.

## Consideraciones sobre artículo

El siguiente artículo de investigación está enmarcado en las actividades de difusión del proyecto competitivo de incentivación pública financiado con fondos europeos de título: "Interacción y Programación Inteligente para la Industria 4.0 a través de la Realidad Mixta y Fabricación Aditiva" que recibió el Centro Tecnológico FIDESOL. Los autores del artículo han desempeñado tareas de Investigación propias del proyecto bajo la tutela de los doctores y directores de la presente tesis, Dr. Rubén Gonzales Crespo y Dr. Juan Manuel Lombardo Enríquez.

Título	DesignMe-MR: Toolbox for the creation of learning scenes to training in occupation risk prevention with mixed reality
Autores	Miguel Angel López, María Dolores Ruiz. David Alvarez
Afiliaciones	Fundación I+D del software libre (FIDESOL), Granada (España)
Conferencia	2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)
Editorial	IEEE
Año de publicación	2021
DOI	10.23919/CISTI52073.2021.9476417
Impact score	0.46
Áreas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Computer Networks and communications</li> <li>2. Information Systems</li> </ol>
Rank	23575

# DesignMe-MR: Herramienta para la creación de escenarios de formación para la prevención de riesgos laborales con realidad mixta.

## *DesignMe-MR: Toolbox for the creation of learning scenes to training in occupation risk prevention with mixed reality*

Miguel A. López; Maria Dolores Ruiz; David Alvarez  
Fundación I+D del software libre (FIDESOL)  
Granada, España  
[malopez@fidesol.org](mailto:malopez@fidesol.org); [mdruiz@fidesol.org](mailto:mdruiz@fidesol.org);  
[dalvarez@fidesol.org](mailto:dalvarez@fidesol.org)

*Resumen* — Actualmente la Industria 4.0 ha cambiado de forma radical el funcionamiento de las operaciones productivas. Este cambio impacta de forma dramática en los procesos formativos de los operarios, bien por la necesidad de conocer nuevos modos de operar con maquinaria, bien por la posibilidad de aprender de formas que antes no se podían ofrecer. La aplicación de la realidad mixta como parte del proceso formativo de los operarios está en riesgo debido a la dificultad en coste por la complejidad de crear las experiencias formativas útiles. DesignMe-MR es una herramienta cuyo objetivo es la simplificación del proceso de creación de una experiencia formativa en realidad mixta que vuelva viable la implantación generalizada de la realidad mixta como una herramienta para la formación de los operarios en cualquier industria o ingeniería. Para ellos DesignMe-MR utiliza la propia realidad mixta para facilitar el proceso de creación de las formaciones en realidad mixta, siendo así una herramienta de gran utilidad para los creadores. Las pruebas ofrecen una alta satisfacción de los usuarios en la aplicación de la realidad mixta tanto en el proceso de creación de contenidos como en la ejecución de las formaciones resultantes.

*Palabras Clave* – aumento humano; realidad mixta; educación; enseñanza digital; enseñanza.

*Abstract* — Now, the Industry 4.0 has changed the way works the all process in industry and engineering. These changes affect in dramatic way in the training and learning worker's process. Either because the workers need to learn new technologies or skill, or because appear new technology that change the learning process in the very important way. The mixed reality applications like a tools int the worker's training process stay at risk because the actual tools to create mixed reality experiences are very complex and expensive. DesignMe-MR is a toolbox that aim to simplify the creation process of the mixed reality learning experiences to achieve decrease the cost to make the widespread implementation of mixed reality as a tool for operator training in any industry or engineering. DesignMe-MR use the mixed reality to help the mixed reality learning experiences creation process, making it a very useful tool for creators. The tests show a high level

of user satisfaction in the application of mixed reality both in the content creation process and in the execution of the resulting training

*Keywords* - human augmentation; mixed reality; education; elearning; learning.

### I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día vivimos en la era de la industria 4.0[1][2], que supone la transformación tecnológica de los procesos y, por lo tanto, un impacto muy significativo en la forma en que se realizan los trabajos, lo que implica que las organizaciones deban adaptarse a un entorno cambiante y conlleva la aplicación de un número importante de nuevas herramientas y tecnologías a procesos y acciones que tradicionalmente se han realizado de forma estandarizada. Ahora, y con pequeños cambios, podemos llevar una completa revolución, algunos ejemplos de ello es la aplicación de inteligencia artificial a los procesos productivos industriales [3], la aplicación de redes de IoT para la capacitación de grandes volúmenes de datos [4]. Esta irrupción de las nuevas tecnologías ha propiciado que igualmente hayan sido adoptadas en multitud de campos, uno de ellos es su aplicación de estas nuevas tecnologías está asociado a la formación en diversos campos. Herramientas de inteligencia artificial ayuda a conocer mejor el proceso formativo de los alumnos o el uso de nuevas tecnologías en materia de aumento humano (human augmentation) como son realidad virtual o realidad aumentada para mejorar la calidad y comprensión de los contenidos formativos [5]. Dentro de la educación y la formación con tecnologías de realidad virtual o realidad aumentada un campo de aplicabilidad muy relevante es la formación de profesionales en su puesto de trabajo donde podemos introducir al usuario en una situación única en un mundo virtual controlado para mejorar la formación en su puesto de trabajo. Un subconjunto de los contenidos formativos orientados a los profesionales es la formación para la prevención de accidentes y lesiones en el puesto de trabajo [6]. Estos tipos

de acciones formativas, que incluyen el uso de realidad virtual [6] o realidad aumentada [7], se centran en acciones puntuales dentro de un proceso de producción en una empresa, esto es debido a la dificultad de diseñar e implementar estas acciones. La dificultad está originada en que los componentes visuales, comportamiento de los mismos y físicas deben ser realizados en cada interacción y actualmente las herramientas que existen ofrecen un grado de reutilización bajo. Esto provoca que esta formación puede ser muy costosa e imposibilita su aplicación generalizada [8] [9] [10], relegando estas herramientas y las capacidades que ofrece a un papel anecdótico dentro de la Industria 4.0 y únicamente en los sectores con mayor fuerza económica donde acciones como estas se puedan acometer, como son medicina o aeroespacial. Dentro del campo de investigación, los autores nos encontramos trabajando en la generalización de estas herramientas tratando de crear tecnología que reduzca el coste de estas acciones con el fin de aplicar su campo de aplicación a otros sectores con menores capacidades económicas pero igualmente necesitados de formación para mejorar la prevención en riesgos laborales “unpublished” [24], existen debilidades en la aplicación de estas tecnologías en el campo de la formación en industria 4.0, particularmente en prevención de riesgos laborales. Explorando las distintas realidades extendidas encontramos la realidad mixta [11], que es una nueva etapa del continuo de la realidad virtual ha sido desplegado en la aplicación de contenidos virtuales, esta nueva tecnología permite entremezclar estímulos virtuales y reales al mismo tiempo, y que el usuario pueda interactuar con ambos al mismo tiempo, de esta manera, por ejemplo, ofrecer a un alumno una experiencia formativa donde sus acciones fueran las naturales, con sus herramientas y en su mismo espacio de trabajo, pero que sus consecuencias fueran virtuales permitiendo introducir situaciones de riesgo virtuales, medidas de productividad etc. En base a todo lo anterior en este artículo presentamos DesignMe-MR una herramienta que se añade al conjunto de acciones que el equipo de investigación está realizando para la creación de experiencias de formación profesional y de prevención de riesgos laborales en realidad mixta y por combinación de objetos simples. Actualmente DesignMe-MR está siendo evaluada en laboratorio para iniciar las primeras experiencias piloto en los próximos meses con un conjunto de alumnos predefinido en una experiencia formativa real. El presente trabajo se desarrolla conforme a la siguiente estructura. En primer lugar, se expone una revisión de la literatura existente que define nuestro estado del arte, para continuar con una descripción de la herramienta de diseños, sus arquitectura, características y la integración con la nube, finalmente en el último capítulo expondremos las conclusiones del artículo sus limitaciones y las posibles líneas de actuación y mejora.

## II. BACKGROUND

El aumento humano (Human Augmentation) (HA) no es un concepto o una tecnología singular, HA es un compendio de investigaciones y estudios que integran distintas áreas de conocimiento como pueden ser electrónica, electromecánica, medicina, o ciencias de la computación entre otros. En su artículo Rasiano [12] define HA como “Human augmentation is an interdisciplinary field that addresses methods, technologies and their applications for enhancing sensing, action and/or

cognitive abilities of a human. This is achieved through sensing and actuation technologies, fusion and fission of information, and artificial intelligence (AI) methods” así Rasiano define tres principales categorías: Augmented senses, Augmented action, Augmented cognition. De esta forma la realidad virtual, la interacción virtual y la realidad mixta están contenidas dentro de la primera “augmented senses”. Una de las tecnologías de la HA con una gran aplicabilidad y que goza de un renovado interés en el campo de la investigación es la aplicación de la realidad virtual en la enseñanza a todos los niveles con un incremento en el número de publicaciones, en los años 2017 a 2019 el número de publicaciones de realidad virtual aplicada a la educación fueron 451 lo que supuso el 34.80% de las publicaciones en realidad virtual [13]. Como parte del continuo virtual, una nueva tecnología ha ganado popularidad en las investigaciones y aplicaciones en los últimos años. Sus usos van desde entretenimiento, videojuegos, formación, entretenimiento y compras, esta nueva tecnología es la realidad mixta (MR) [14] [15]. La MR es una tecnología cuya definición ha ido adaptándose con la aparición de nuevas investigaciones, podemos citar la propuesta por Pan, Z y compañía en [5] como “The incorporation of virtual computer graphics objects into a real three- dimensional scene, or alternatively the inclusion of real-world elements in a virtual environment”. Otra forma de definirla y separarla de otras formas de realidades extendidas como la realidad aumentada (AR) o la realidad virtual (VR) es la propuesta por Marc, P en [11] donde expone las cualidades de Inmersión, Interacción e Información como la MR se separa de la VR o AR en cada una de ellas. Finalmente Kress BC en [16] resumen MR de la siguiente manera “The goal is to enrich his environment while avoiding disrupting the link he has with reality”. Con este objetivo y la gran aplicabilidad de la MR con dispositivos sobre la cabeza (HMD) que ofrecen la información virtual en el punto de vista del usuario se han realizado diversos estudios de aplicabilidad y de capacidades. Kwang-seong, S, propone un análisis para medir el impacto en la percepción del usuario sobre la escala y el color de los objetos representados mediante dispositivos MR ofreciendo una conclusión sobre la dificultad de estimar el tamaño real de un objeto virtual basado en su tamaño [17]. Entrando en el campo de la aplicación de MR encontramos que distintos autores han estudiado la aplicabilidad de diversos estudios de la educación, Jorge B en [18] concluye que la MR representa una gran herramienta para la enseñanza y la educación, así mismo. Devon, A, en [8] determina que la VR y la MR son elementos para el aprendizaje que ofrecen mejores resultados que los activos tradicionales como libros o apuntes, ofreciendo un resultado empírico de su valor pedagógico. Es importante dedicar una mención especial en una situación como la actual con la amenaza de COVID-19 y como diversos autores han detectado tecnologías como la HA, VR o MR soluciones válidas para permitir una educación a distancia de gran calidad [8] [9] [10]. La aplicación de MR también ha sido evaluada en formaciones de mayor nivel y que requieren más precisión, como por ejemplo trabajo orientados a formar estudiantes de medicina [19] [9]. Con el mismo objeto, la formación de tareas de precisión, la MR se ha acercado a la aplicación industrial como es una muestra el trabajo de Ronny, S, [20] y su uso de MR para la integración de medidas procedentes de una red de IoT con la MR. Uniendo las dos áreas de trabajo, la formación y la aplicación industrial centramos el estudio, y focalizamos en la

aplicación de la formación en el punto más importante como es la formación en prevención de riesgos laborales (PRL) y formación industrial. Hoy en la aplicación de las realidades virtual, mixta o aumentada que se despliegan en la industria y la ingeniería está pendiente de un importante esfuerzo por eliminar el gap de aplicación promovido por el coste en recursos humanos y económico de la aplicación de dichas tecnologías [21][22][23]. Centrados en esta línea de actuación los autores han trabajado en la construcción de una plataforma de formación sobre RV para el entrenamiento de prevención de riesgos laborales en entornos virtuales “unpublished” [24]. Una de las nuevas acciones para la lucha contra los accidentes en industria y construcción es la aplicación de MR como herramienta para la mejora de los contenidos formativos y la aplicación de protocolos de seguridad. Así los autores presentan una evolución sobre su línea de investigación presenta la herramienta de este trabajo, DesignMe-MR. Cuyo objetivo es facilitar la aplicación de tecnologías de MR tratando de evadir los problemas actuales para la aplicación de tecnologías de HA y realidad extendidas como son los costes y la velocidad de implantación ofreciendo una solución de diseño de experiencias en realidad mixta rápida, robusta y confiable.

### III. HERRAMIENTA

Afrontar el desarrollo de una plataforma de ejecución de experiencias formativas en realidad mixta supone, como se ha expuesto anteriormente, el afrontar el reto a la creación de un conjunto de elementos virtuales que a su vez son representados sobre el espacio compartido (mixto) de la realidad y cuya capacidad de interacción es dependiente tanto de las acciones del usuario como de las interacciones o acciones que ocurren en el entorno del usuario. Así mismo el proceso de creación de estas experiencias supone un reto que DesignMe-MR intenta solventar mediante el uso de componentes de comportamiento inteligente, integración en la nube y simplificación del proceso productivo realizado por el creador de contenidos formativos. De esta manera, DesignMe-MR posee los siguientes requerimientos:

- La herramienta debe ofrecer un modo de representar los objetos en un contexto de realidad mixta de forma que el creador de experiencias formativas pueda conocer en primera persona la visualización de las experiencias formativas.
- Los objetos representados en la realidad mixta deben tener la capacidad de, si es necesario, trabajar de forma colaborativa.
- DesignMe-MR aprovecha la herramienta de creación de CreaMe, “CreaMe Content Tools” para tener una base de componentes y elementos definido en la plataforma con comportamientos y representaciones virtuales concreta de manera que pone a disposición de los usuarios este conjunto con el fin de acelerar el proceso creativo y de concepción de las experiencias formativas. Así, DesignMe-MR centra su foco de actuación en la representación de estos objetos y los algoritmos de combinación los mismo en realidad mixta.

#### A. Arquitectura de DesignMe-MR

La arquitectura de DesignMe-MR está diseñada bajo un estándar de funcionamiento en nube, donde los dispositivos de HA como, las gafas de realidad mixta poseen un funcionamiento simple y relegando toda la necesidad de computo pesado e interacción compleja al servicio en nube donde se realizan las operaciones adecuadas. La Figura 1 muestra un esquema arquitectónico a alto nivel entre los principales actores en la plataforma. Vemos representado los objetos de realidad virtual (cubo verde) con su interacción entre el entorno real y la interacción del usuario (circunferencia amarilla), captado a través de las gafas de realidad mixta. Estas acciones, salvos las triviales como físicas básicas, son procesadas en la gafa de realidad mixta para posteriormente enviarse al DesignMe-MR Cloud mediante servicios web RestFul, donde se analiza la información para componer la respuesta a partir de los algoritmos adecuados. Con este esquema de funcionamiento se descarga en su mayor parte del esfuerzo computacional de las gafas de realidad mixta, cuyo hardware habitualmente es escaso.

Con un mayor nivel de detalle encontramos la Figura 2 donde mostramos la pila de componentes software que componen DesignMe-MR. Para una mejor exposición de los mismos se han subdividido los mismos en los componentes del lado del DesignMe-MR Cloud y DesignMe-MR Glass. Estos componentes son:

- DesignMe-MR Engine: ejecutando como algoritmos de consumo por parte de la API expuesta de servicios de DesignMe-MR corresponde al núcleo (core) de la solución y es donde se ejecutan los algoritmos más pesados de composición de escenas de realidad mixta. Con este mismo objeto, DesignMe-MT hace las veces de gestor de operaciones y posee, no solo la lógica de los algoritmos de IA, sino también toda la lógica de acceso a la información, así como de bitácora y log de las acciones de los usuarios para un posterior análisis del comportamiento del usuario.
- DesignMe-MR API- RestFul es el componente que agrupa el conjunto completo de servicios web expuestos por DesignMe-MR y que son consumidos por las gafas de realidad mixta para su funcionamiento. Los servicios web y su modo de operación juegan un papel fundamental en las características de ciberseguridad de la plataforma. Actualmente el lenguaje de intercambio de información es JSON.
- DesignMe-MR Glass Communication Manager (GCM) es el gestor más importante dentro del funcionamiento de cada una de las gafas de realidad mixta. Es consumido bajo demanda por Glass Behaviour Engine (GBE) y centraliza toda la lógica de funcionamiento del esquema de comunicaciones con la nube de DesignMe-MR descargando así el proceso de comunicación fulduplex de la gafa hacia la nube. Este hecho resulta de relevancia para las continuas evoluciones e investigaciones en el área de explotación de algoritmos que mejoren la percepción del usuario en la propia gafa.

- DesignMe-MR Glass Behaviour Engine (GBE) es el encargado de gestionar el ciclo de vida de todo componente representado en la realidad mixta, además tiene la responsabilidad de gestionar la lógica de los inputs del dispositivo y lanzar, cuando sea necesario los algoritmos de interacción entre componentes. Es importante resalta que existen dos tipos de algoritmos de interacción entre componentes virtuales representados en la realidad mixta, a saber: los comportamientos ligeros como físicas o relaciones de choque que son procesados en el propio dispositivo de realidad mixta; y los pesados para los cuales se invocan a DesignMe-MR Cloud.

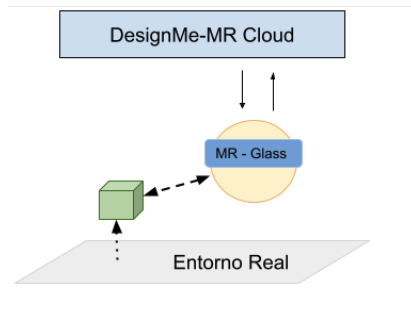


Figure. 1. Esquema de interacción entre DesignMe-MR y el ecosistema del usuario

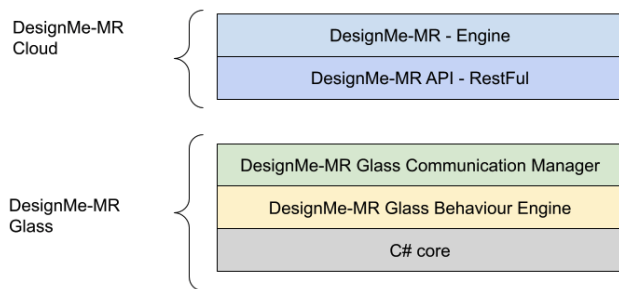


Figure. 2. Diagrama de bloques de DesignMe-MR

### B. Esquema de comunicación

Las condiciones de ciberseguridad que se en un caso de uso de DesignMe-MR requieren un estudio específico. Esto es debido a que las acciones de los usuarios con los objetos representados en la realidad mixta pueden suponer un riesgo de propiedad intelectual o industrial para la entidad donde se realicen. Veamos el ejemplo de una formación para la prevención de riesgos laborales en una maquinaria concreta de una industria. En dicho ejemplo los actuadores, así como los elementos de interacción con la maquinaria estaría presentes en la realidad mixta permitiendo a un intruso en las comunicaciones conocer, no solo estos elementos sino también la relación intrínseca que pueden existir entre ellos. Pensemos por ejemplo una formación con una caldera en una central de producción energética, al necesitar formar a los operarios la descripción de la caldera en la realidad mixta sería completa, tanto los modos de actuación como las alarmas o los indicadores, de esta forma

un atacante podría conocer el detalle de la relación entre las acciones del operario y la gestión de las alarmas o indicadores. Otro ejemplo sería una formación donde se utilizan datos reales de una red de IoT de una industrial, dichos datos podrían ser sustraídos por medio de las comunicaciones de la plataforma de realidad mixta. De este modo, y con el fin de garantizar la máxima ciberseguridad entre los puntos que intervienen en el funcionamiento (gafas de realidad mixta y nube de computación) el sistema de comunicación utiliza los estándares de mercado de probada valía, como son:

- Autenticación y autorización de usuario y aplicación. Utilizando el estándar WebToken para la autenticación del usuario, mezclado un un APP Key de clave asimétrica para la confirmación del código que invoca el sistema.
- Encriptación punto a punto sobre estándar SSL.

Al mismo nivel de relevancia con la ciberseguridad está el papel de la optimización de las comunicaciones de las gafas. Estos dispositivos son ligeros y su capacidad de cómputo es muy contenida, razón por la cual demos optimizar dos variables. La primera de ellas es la velocidad de respuesta y fluidez de la aplicación para ellos es importante que los recursos hardware queden centrado en las operaciones de visualizado. Por otro lado, está el esfuerzo en comunicaciones, si cada interacción es invocada a la nube, la fluidez de la aplicación estará relegada a la calidad de la señal de comunicaciones, que, aún siendo adecuada, si se eleva el número de peticiones las operaciones de comunicaciones podrían quitar recursos computaciones a las operaciones de visualización degradando la calidad del funcionamiento. Por esta razón es importante determinar: Que operaciones son invocadas a la nube, que operaciones son realizadas en las gafas y que operaciones más complejas, pueden simplificarse para ser ejecutadas en las gafas.

### C. Experiencia en laboratorio

Como parte del proceso de validación el equipo de investigadores trabaja en la búsqueda de una industria para una experiencia de validación piloto. Actualmente las pruebas en laboratorio con los usuarios especializados en el uso de distintas realidades extendidas como aumentada, virtual y ahora mixta, han sido satisfactorias pudiendo completar la fase de validación en laboratorio. En la Figura 3 podemos observar una imagen desde el punto de vista del usuario de la realidad mixta, donde se aprecian los distintos componentes que el creador de contenidos tiene a su disposición.





Figure 3. Visualización del usuario creando una escena en laboratorio

#### IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente artículo hemos presentado DesignMe-MR una poderosa herramienta para la creación de formaciones mediante realidad mixta que, haciendo uso de CreaMe “unpublished” [24] una demostrada solución para creación de contenidos formativos, ofrece un punto de partida para la adopción de la realidad mixta como una herramienta de formación. DesignMe-MR centra sus objetivos en la simplificación de la creación de experiencias formativas con el objetivo de evitar los problemas actuales para su aplicabilidad generalizada en la industria [8][9][10]. Las pruebas de laboratorio han resultado exitosas, recibiendo una satisfacción generalizada de los usuarios en laboratorio tanto en el proceso de creación de contenidos como en la visualización y experimentación de los contenidos creados con DesignMe-MR. A tal efecto nos permiten presentar las siguientes características de DesignMe-MR, a saber:

- Capacidad de diseño rápido y de calidad de experiencias formativas en realidad mixta sobre el entorno laboral: gracias a su solución de integración de elementos en realidad mixta y composición de comportamientos podemos diseñar la experiencia de formación en realidad mixta en el mismo espacio donde se realizará la formación. Ayudando así a que los contenidos estén mejor alineados con los espacios de trabajo reales.
- Seguridad y optimización en las comunicaciones: la ciberseguridad es una necesidad que hoy en día deben atender toda la plataforma, no solo un requerimiento, sino una característica propia de la solución como es la eficiencia o la usabilidad. DesignMe-MR ha sido diseñado desde la base para ofrecer una robustez y un diseño seguros como conjunto. Las operaciones de comunicaciones y las operaciones en gafa han sido optimizadas para ofrece una optimización de los recursos hardware del dispositivo.
- Visualización de experiencias formativas en MR: Junto a la capacidad de diseñar las experiencias formativas DesignMe-MR es a su vez plataforma de ejecución de las experiencias creadas en sí misma, dando a los futuros usuarios de DesignMe-MR una plataforma

completa de creación y ejecución de las experiencias formativas.

Aún habiendo obtenido los resultados mencionados anteriormente el presente trabajo posee limitaciones que deben ser tenidas en cuenta, estas limitaciones son:

- La programación de comportamientos en los entornos de realidad mixta. Si bien es cierto que, a la configuración del espacio de formación, el poder realizarlo sobre el entorno de ejecución real de las tareas facilita una creación de experiencias formativas de alta fiabilidad, la configuración y preparación de comportamientos complejos o integración con datos reales es un campo donde se debe continuar investigando.
- El proceso de creación de una experiencia formativa se realiza solo por un usuario. En un entorno productivo real, la formación puede ser multidisciplinar y por tanto es necesario que varios formadores interactúen de forma conjunta para elaborar una formación satisfactoria.

Actualmente el equipo de investigación tiene detectada algunas líneas futuras de investigación, estas son: 1° un estudio sobre una industria o empresa de ingeniería real con el fin de medir el grado de mejora en la formaciones por la aplicación de tecnologías de realidad mixta con DesignMe-MR; 2° el uso de soluciones de diseño de componentes fuera de la realidad mixta para la finalización de la experiencias formativas sin perjuicio de la calidad de la formación; 3° la aplicación de DesignMe-MR para la creación de contenido didáctico para escuelas de formación profesional o institutos de secundaria en materias que no tienen por que ser peligrosas pero sí que quedan fuera de los planes de estudios por costes u otras dificultades.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

- [1] A. P. Botha, “RAPIDLY ARRIVING FUTURES: FUTURE READINESS FOR INDUSTRY 4.0,” *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 29, no. 3, nov 2018.
- [2] J. A. Saucedo-Martínez, M. Pérez-Lara, J. A. Marmolejo-Saucedo, T. E. Salas-Fierro, and P. Vasant, “Industry 4.0 framework for management and operations: a review,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 9, no. 3, pp. 789–801, jun 2017.
- [3] J. L. Ruiz-Real, J. Uribe-Toril, J. A. Torres, and J. D. Pablo, “ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN BUSINESS AND ECONOMICS RESEARCH: TRENDS AND FUTURE,” *Journal of Business Economics and Management*, vol. 22, no. 1, pp. 98–117, oct 2020.
- [4] J. Sengupta, S. Ruj, and S. D. Bit, “A secure fog-based architecture for industrial internet of things and industry 4.0,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 4, pp. 2316–2324, apr 2021.
- [5] Z. Pan, A. D. Cheok, H. Yang, J. Zhu, and J. Shi, “Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments,” *Computers & Graphics*, vol. 30, no. 1, pp. 20–28, feb 2006.
- [6] M. Li, Z. Sun, Z. Jiang, Z. Tan, and J. Chen, “A virtual reality platform for safety training in coal mines with AI and cloud computing,” *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol. 2020, pp. 1–7, oct 2020.
- [7] X. Li, W. Yi, H.-L. Chi, X. Wang, and A. P. Chan, “A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety,” *Automation in Construction*, vol. 86, pp. 150–162, feb 2018.
- [8] D. Allcoat, T. Hatchard, F. Azmat, K. Stansfield, D. Watson, and A. von Muhlenen, “Education in the digital age: Learning experience in virtual and mixed realities,” *Journal of Educational Computing Research*, p. 073563312098512, jan 2021.

- [9] B.L. Robinson, T.R. Mitchell, and B.M. Brenseke, "Evaluating the use of mixed reality to teach gross and microscopic respiratory anatomy," *Medical Science Educator*, vol. 30, no. 4, pp. 1745–1748, aug 2020.
- [10] G. Chryssolouris, D. Mavrikios, and D. Mourtzis, "Manufacturing systems: Skills & competencies for the future," *Procedia CIRP*, vol. 7, pp. 17–24, 2013.
- [11] M. Parveau and M. Adda, "3ivclass: a new classification method for virtual, augmented and mixed realities," *Procedia Computer Science*, vol. 141, pp. 263–270, 2018.
- [12] R. Raisamo, I. Rakkolainen, P. Majoranta, K. Salminen, J. Rantala, and A. Farooq, "Human augmentation: Past, present and future," *International Journal of Human-Computer Studies*, vol. 131, pp. 131 – 143, 2019, 50 years of the International Journal of Human-Computer Studies. Reflections on the past, present and future of human-centred technologies. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581919300576>
- [13] M.-D. González-Zamar and E. Abad-Segura, "Implications of virtual reality in arts education: Research analysis in the context of higher education," *Education Sciences*, vol. 10, no. 9, p. 225, aug 2020.
- [14] D. Jo, K.-H. Kim, and G. J. Kim, "SpaceTime: adaptive control of the teleported avatar for improved AR tele-conference experience," *Computer Animation and Virtual Worlds*, vol. 26, no. 3-4, pp. 259–269, apr 2015.
- [15] H. Xue, P. Sharma, and F. Wild, "User satisfaction in augmented reality-based training using Microsoft HoloLens," *Computers*, vol. 8, no. 1, p. 9, jan 2019.
- [16] B. C. Kress and W. J. Cummings, "Optical architecture of HoloLens mixed reality headset," in *Digital Optical Technologies 2017*, B. C. Kress, W. Osten, and H. P. Urbach, Eds. SPIE, jun 2017.
- [17] K. Seong Shin, H. Kim, J. gon Lee, and D. Jo, "Exploring the effects of scale and color differences on users' perception for everyday mixed reality (MR) experience: Toward comparative analysis using MR devices," *Electronics*, vol. 9, no. 10, p. 1623, oct 2020.
- [18] J. Bacca, S. Baldiris, R. Fabregat, Kinshuk, and S. Graf, "Mobile augmented reality in vocational education and training," *Procedia Computer Science*, vol. 75, pp. 49–58, 2015.
- [19] M.C. Hsieh and J.J. Lee, "Preliminary study of VR and AR applications in medical and healthcare education," *Journal of Nursing and Health Studies*, vol. 03, no. 01, 2018.
- [20] R. Seiger, R. Kühn, M. Korzetz, and U. Abmann, "HoloFlows: modelling of processes for the internet of things in mixed reality," *Software and Systems Modeling*, jan 2021.
- [21] J. M. D. Delgado, L. Oyedele, P. Demian, and T. Beach, "A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 45, p. 101122, aug 2020.
- [22] J. Wan, Y. Zheng, Y. Li, H. Mei, L. Lin, and L. Kuang, "Oil depot safety inspection and emergency training system based on virtual reality technology," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 782, p. 042018, apr 2020.
- [23] F. Bin, Z. Xi, C. Yi, and W. G. Ping, "Construction safety education system based on virtual reality," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 563, p. 042011, aug 2019.
- [24] M. A. L. L. J. R. Gonzalez-Crespo, "Creame: human augmentation platform for the creation of training in educational lakes inherent to dangerous situations," *Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 2021.

*Información del artículo*

Título	Towards a Solution to Create, Test and Publish Mixed Reality Experiences for Occupational Safety and Health Learning: Training-MR
Autores	Miguel Angel López (1), Juan Manuel Lombardo(1), Rubén González Crespo(2)
Afiliaciones	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fundación I+D del Software Libre (FIDESOL), Granada (España)</li> <li>2. Universidad Internacional de la Rioja, Logrono (España)</li> </ol>
Revista	International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence
Editorial	UNIV INT RIOJA-UNIR
Año de publicación	2021
DOI	10.9781/ijimai.2021.07.003
Factor de impacto	3.137 (JCR 2020)
Áreas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Computer science, artificial intelligence</li> <li>2. Computer science, interdisciplinary applications</li> </ol>
Rank	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Computer science, artificial intelligence: 58/139</li> <li>2. Computer science, interdisciplinary applications: 55/111</li> </ol>

# Towards a Solution to Create, Test and Publish Mixed Reality Experiences for Occupational Safety and Health Learning: Training-MR

Miguel A. Lopez<sup>1</sup>, Sara Terron<sup>1</sup>, J. M. Lombardo<sup>1</sup>, Rubén Gonzalez-Crespo<sup>2</sup> \*

<sup>1</sup> Fundación I+D del software libre (FIDESOL), Granada (Spain)

<sup>2</sup> Universidad Internacional de La Rioja, Logroño (Spain)

Received 29 April 2021 | Accepted 1 July 2021 | Published 23 July 2021



## ABSTRACT

Artificial intelligence, Internet of Things, Human Augmentation, virtual reality, or mixed reality have been rapidly implemented in Industry 4.0, as they improve the productivity of workers. This productivity improvement can come largely from modernizing tools, improving training, and implementing safer working methods. Human Augmentation is helping to place workers in unique environments through virtual reality or mixed reality, by applying them to training actions in a totally innovative way. Science still has to overcome several technological challenges to achieve widespread application of these tools. One of them is the democratisation of these experiences, for which is essential to make them more accessible, reducing the cost of creation that is the main barrier to entry. The cost of these mixed reality experiences lies in the effort required to design and build these mixed reality training experiences. Nevertheless, the tool presented in this paper is a solution to these current limitations. A solution for designing, building and publishing experiences is presented in this paper. With the solution, content creators will be able to create their own training experiences in a semi-assisted way and eventually publish them in the Cloud. Students will be able to access this training offered as a service, using Microsoft HoloLens2. In this paper, the reader will find technical details of the Training-MR, its architecture, mode of operation and communication.

## KEYWORDS

Human Augmentation, Mixed Reality, Virtual Reality, Education, Elearning.

DOI: 10.9781/ijimai.2021.07.003

## I. INTRODUCTION

**N**EW technologies are transforming the society in which we live at a breakneck pace. The application of new technologies takes place in various areas in order to improve productive processes, facilitate personal relationships, or help to better understand society. This global transformation reaches its full potential in transforming the more traditional industry into the new 4.0 industry which is already a reality [1] [2]. Sensors networks, embedded systems, or wearable devices networks are interconnected to form large IoT networks (Internet of Things). These IoT networks have enhanced the interoperability of companies [3]. In addition, new artificial intelligence technologies have been incorporated to a large extent in the industry, empowering the use of data to optimize, automate and improve various types of processes [4]. This ecosystem is in continuous technological revolution, which encourages other scientific fields to be growing strongly. Technologies related to "Human Augmentation" (HA) seek to offer technological solutions to improve people's productivity by

using different tools and algorithms. A subset of these tools are those encompassed by the "continuum reality" [5]. This concept proposes other realities that are accessible through the use of new technologies. In this way, users can experience situations and perform actions different from the real ones, depending on the position in which we are in the "continuum reality". Within this area of research, virtual reality is experiencing an exponential growth in recent years [6]. The possibility of placing the user in a controlled, completely real and highly interacting environment has encouraged many researchers to explore the applicability in engineering [7], medicine [8], or education [9], among others. In this case, users interact with virtual elements. Virtual reality is not the only alternative explored by researchers. The rise of smartphones with high computing power and a camera with appropriate technical features, provides a perfect platform for the execution of many augmented reality solutions [10]. Digital elements are represented in the user's visible spectrum through an external element. These elements can interact with each other or as a result of user actions. The development of the latest hardware platforms by the large manufacturers of the technology industry has been made possible by mixed reality to assist in software development, which have been applied in industry, architecture, engineering or construction [11] [12]. For all the so-called extended realities, researchers have studied how these technologies could be applied to training and education, in order to enhance students' performance and skills. With regard to training, particularly for industry, the focus on occupational risks

\* Corresponding author.

E-mail addresses: malopez@fidesol.org (M. A. López), sterron@fidesol.org (S. Terron), jmlombardo@fidesol.org (J. M. Lombardo), ruben.gonzalez@unir.net (R. González-Crespo).

Please cite this article in press as:

M. A. Lopez, S. Terron, J. M. Lombardo, R. Gonzalez-Crespo. Towards a Solution To Create, Test and Publish Mixed Reality Experiences for Occupational Safety and Health Learning: Training-MR, International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, (2021), <http://dx.doi.org/10.9781/ijimai.2021.07.003>

prevention should be highlighted. Occupational Safety and Health (OSH) is a major challenge for society and science. In 2016, about 3 million workers in the industry sector reported an occupational injury or illness, which is equivalent to 2.9% of full-time workers registered in the United States [13]. The science still has a long way to go to clearly and correctly identify the factors that can cause occupational accidents or professional illnesses. Within the scope of interest of this paper, we find research related to the use of extended realities applied in the training of workers, such as virtual reality or mixed reality. Specifically, we propose our solution, whose objective is the democratization of training with extended realities through technologies applied to the prevention of occupational risks. This solution offers a cloud service for terminals of different technologies with which students may experience situations of risk, but without compromising their physical integrity or implying any cost in materials, and without causing possible damage to the company's facilities or resources. This type of student-centered training will help to improve their rapid response to emergency situations, as well as to know the protocols to be followed in order to carry out the work in appropriate conditions of safety and health. The training activity can be performed in a delocalized way with virtual reality or on site with mixed reality. Furthermore, to break the barrier of the cost of applying this technology [14] [15] [16], our development offers a set of tools for the creation of training experiences. A trainer can use these tools to build their own mixed reality experiences in a completely customized way depending on the workplace.

This article is structured as follows: the background when the authors introduce the library review. Then, in motivation and methodology we present the result of the OSH analyst and the Training-MR objective. We continue with the technical description where we resume the main issues, details, characteristics about Training-MR. At the end, discussion and conclusion are presented where we analyse the advantages of the Training-ME and present its limitations and future lines.

## II. BACKGROUND

Human augmentation comprises a field of science whose objective is to improve human capacities through the use of tools, which can have a different degree of integration with people's actions and perceptions of their environment. A common example of these tools is the devices used by people with reduced hearing capacity. Human augmentation can be differentiated from other similar fields of research such as Human Enhancement (HE), in which the improvement of the human body itself is pursued. That is, HE seeks to improve the human body through the use of various technologies [17], while HA focuses on the application of technologies to improve human capacity and productivity, without the need to modify the body itself. An example of this differentiation is found in the current use of mixed reality glasses that provide real-world digital information, in front of a hypothetical artificial eye that sends digital and real information to the user's brain. In this case, the use of mixed reality glasses corresponds to HA and the artificial eye with HE. Providing a clear definition for HA is not easy, so several definitions of this concept can be found in the scientific literature [18]. Li introduces human augmentation technology referred to "methods with which human beings can obtain abilities exceeding the normal level or can compensate for abilities impairments" [19]. Another main definition is that provided by Rasiano [20]. In their study it is presented as "an interdisciplinary field that addresses methods, technologies and their applications for enhancing sensing, action and/or cognitive abilities of a human. This is achieved through sensing and actuation technologies, fusion and fission of information, and Artificial Intelligence methods".

The study of HA is often divided to improve its understanding and study. Li proposes a classification according to the scientific field and the impact of the adopted technology on the user. The four categories identified are as follows [19]:

- Medication augmented: for research focusing on the use of medication.
- Genetic augmented: for research using genetic modification techniques.
- Mechanical augmented: for research that proposes the use of hardware or electronics.
- Surgical augmented: for research focused on surgical operations of patients.

Other categories of HA have been proposed, such as Rasiano's research explaining three categories according to augmented skill [20]:

- Sense augmented: improvement of the user's ability to perceive the world.
- Action augmented: improvement of the user's performance capabilities.
- Cognition augmented: improvement of the cognitive abilities of the user.

Based on the numerous considerations that can be found in the literature and the studies carried out in this field, we define Human Augmentation as "the augmentation of the user from devices with which they are equipped or dressed, to improve the results of tasks by transforming the way they are performed". Thus, a categorization of the human augmentation is proposed with an approach that is not based on the augmented user capacity or the way in which this is achieved. Today, and with a foreseeable increase in the future, this augmentation will be achieved by several means (Li's proposal [19]), and will affect several capacities (Raisamo's proposal [20]). Accordingly, it is already common to find a single device that influences both senses and actions (the Microsoft HoloLens, for example). Taking this into account, we offer our own categorization based on the augmentation achieved by the user from the technology implemented for this purpose:

- Augmented successfully: the application of one or more HA technologies enable a user to perform tasks that would otherwise be unfeasible, or even achieve a more efficient performance. An example is the combination of mixed reality glasses with hand detection devices and a remote robot to perform underwater operations.
- Augmented Multitasking: the HA allows a user to perform parallel operations, which would otherwise have to be done sequentially. This would be the case, for example, of executing a complex task in an industrial production chain with two collaborative robots, one operated by voice commands and the other by hand gestures.
- Augmented perception: set of HA devices that provide information to the user about the environment around them. This category groups all technologies focused on new design, creation or research modes, in which information and data are the main object of actions. For example, a scientific experiment conducted with mixed reality simulations.

Focusing on the application of these technologies in the field of occupational safety and health, some studies can be found. In 2012, the EU Safe project was created in Europe to promote the study on the prevention of occupational risks, supporting research in this area [21]. In this regard, education and training of all the roles involved in the occupational risk prevention chain plays a key role, including from auditors and inspectors in preventive matters to the workers themselves [21] [22]. In response to the needs of society and international research, a number of new technologies have

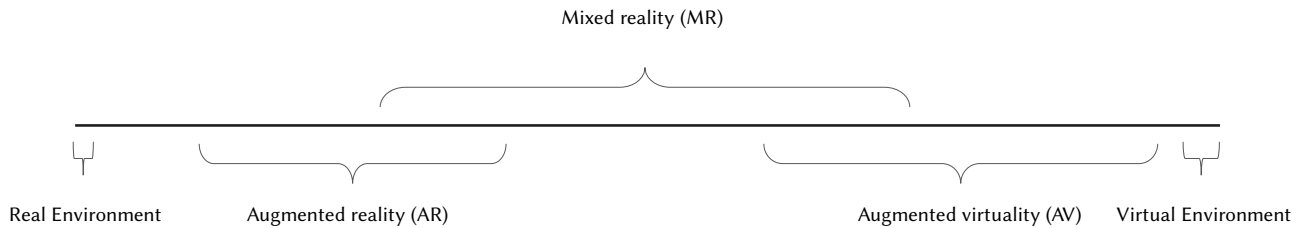


Fig. 1. Virtual continuum schema from Milgran y Kishino [5].

been successfully applied. Using artificial intelligence, we find the study of Simeone et al. in which they address the construction of a cloud platform for monitoring workers, in order to avoid accidents or injuries resulting from their usual work [23]. The application of Internet of Things (IoT) technologies and principles for the protection of workers also corresponds to another well-explored scientific area. Sensorizing workers' behavior has benefited workplace safety, as research by Suganya et al. shows, which exposes the construction of a miner monitoring system that includes various personal sensors and equipment to ensure their safety [24]. Another IoT study for the protection of workers in coal mines is conducted by Kumar et al. [25]. One of the main applications of IoT technologies in this area focuses on the helmet of workers. This individual protection element has unique characteristics (type-approval, obligation to use, position and guidance vis-à-vis the user). Thus, these protection elements become an integration hub for IoT sensors and devices deployed on the workers themselves [26] [27].

Considering the technologies that the HA encompasses, this paper focuses on the extent of reality, so we aim to improve the user's ability to perceive and interact with the surrounding environment. There are several types of applications of these realities, which depend on the digital tools selected. In this regard, Milgran and Kishino proposed the so-called "virtual continuum" [5]. This "virtual continuum" corresponds to the linear representation presented in Fig. 1, in which the technology is located according to its proximity to the real world (free of digital elements), or virtual (where every user-perceptible element is digital). There is a very wide range of possibilities between the two ends of the line. Augmented reality is the exposure of user-perceptible digital elements within their environment. An example of everyday use can be a vehicle browser application that expands the user's perception of his environment, providing the user with the appropriate direction. On the other hand, the increase in the load of digital elements while reducing the user's perception of their real environment, lead to the approach towards extended virtual reality. Mixed reality, meanwhile, occupies a distinct position as it displays digital 3D elements without removing user perception from the real environment. For the purpose of this study, we consider two positions within the "virtual continuum" to be of interest. The first of these is the virtual reality, positioned on the far right of the image, corresponding to the virtual environment, in which only digital elements are perceived by the user. The user feels immersed in a virtual environment. The second is the mixed reality, in which users visualize and interact with digital elements while still perceiving the real world. In mixed reality, digital objects can interact with each other or with other objects in the real world.

#### A. Virtual Reality

Virtual reality (VR) was introduced in the 1960s, experiencing various modifications over the years due to the advancement of science and technology. Gigante in 1993 identified virtual reality as "the illusion of participation in a synthetic environment rather than external observation of such an environment. VR relies on three-dimensional (3D), stereoscopic, head-tracked displays, hand/body tracking and binaural sound. VR is an immersive, multisensory

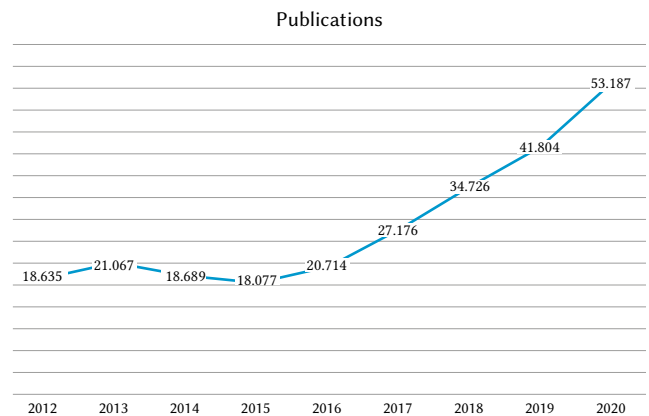


Fig. 2. Chart of papers with virtual reality key word. Data from <https://app.dimensions.ai/>.

experience" [28]. On the other hand, in 2019 Kardong-Edgren states the need to agree on a term that today meets the variety of applications and research carried out around this concept [29]. The research in HA and VR is currently at a time of great relevance for their research. Technological progress has led to the lower price of technology, which has turned VR glasses into a common consumer product for the general population. This has influenced the conduct of applicability studies in different fields of research and the consequent increase in the number of scientific publications. As Fig. 2 shows, the number of scientific papers containing the keyword "virtual reality" continues to grow over the years. The increase in published scientific work reflects the opportunities offered by these technologies. Isolating a user in a simulated, virtual, and 3D environment from the real world is a useful tool. Also, it is worth noting the degrees of freedom available to a user in virtual reality. The most commonly used devices such as Oculus Quest or HTC VIVE are offered as elements of interaction with the virtual environment. The set of "head mounted displays" (HMD) and hand tracking devices in VR offer the user freedom related to: (1) head tracking, i.e. the user's view in the real environment is driven by the movement of their head; (2) wrist rotation, so that virtual hands rotate with the movement of the user's wrist; (3) head and hand orientation are interpolated to estimate a natural position of the arms, although in most virtual environments the user's arms are removed from simulation; (4) the movement of three of the five fingers of each hand are detected by virtual reality hand tracking devices and sent to the digital fingers, interpolating the remaining two fingers to provide a feeling close to reality. It is common for current HMD devices to have a way to recognize the depth of field in a particular configured environment, which in Oculus Quest is called The Guardian. This provides the user with a controlled environment where their position is detected at all times, giving freedom of movement, also taking into account their height to know if they are crouched or standing. Thus, with modern systems, a user in a virtual world can simulate a controlled movement in a given space and even interact through the height of his gaze, detected by the movement and position of the head. As far as the

interaction with the hands is concerned, the sensation experienced is quite similar to the reality, since the most common movements that a person makes, such as picking, pressing, releasing or pinching with his thumb and forefinger, are perfectly detected. These virtual immersion features have popularized its use. The application of virtual reality in medical research has been very relevant, given the trajectory of this technology for simulation. Quigley et al. conducted a study on the use of VR for the training of patients aimed at weight loss [30]. Lombardo and López, both authors of this paper, also explored the application of VR in support of the rehabilitation of Parkinson's patients [8]. Similarly, many studies highlight the pedagogical virtues of the use of these tools [31] [32] [33] [34]. Different levels of application of virtual reality in the education and training of people can be found. A first level is identified with the implementation in basic education [35]. In more advanced studies such as those at the university, we find the research of Porter et al., in which they concluded that the use of VR improved the performance of the students, compared to those who were trained using only books or videos [36]. Du et al. performed a study with two different types of training experiences in VR, in which one group of students participated in the virtual experience individually, while in the other group more than one student was connected in the same experience and could interact with each other [9]. The results showed that students who participated in both types of training experiences with VR obtained better qualifications than those who used traditional methods. It is not difficult to find in the scientific literature studies that apply virtual reality in training oriented to the industrial sector, given the virtues of its adoption. VR has been used in different sectors to train professionals in the execution of tasks where their integrity and health may be at risk. As an example of this kind of training, we can cite the one associated with the firefighting. Among these studies were those carried out by Rahmalan et al. who used VR to instruct in estimating a fire [37], the one by Pitana et al. focused on training fire inspectors [38], or the study conducted by Wan for training inspectors of industrial oil deposits [15]. In line with the above studies, Li explored the use of VR for coal miners training [39]. Likewise, the authors of this paper have already introduced a new system to bring virtual reality closer to teachers [40], and have explored the use of a semi-assisted virtual experience creation system for training in the prevention of occupational risks [41]. After a thorough analysis of the state of the art, the following conclusions should be highlighted:

- Virtual Reality is a tool with a wide range of industrial applications.
- Virtual Reality can be successfully used for professional training so that they can act in situations of risk without affecting their health or physical integrity.
- The creation of all virtual experiences starts from scratch without using standard tools or framework, which implies cost overruns in the design phase.
- Existing solutions do not take into account the vulnerability of data that users expose in the system. Users in a virtual environment are providing information about themselves and how they interact, so these data must be properly protected.

### B. Mixed Reality

As we saw in Fig. 1, another position of the "virtual continuum" is occupied by mixed reality (MR), whose characteristics are of interest to the object of this paper. The user in this region can perceive real and virtual objects, together but distinguishable from each other. Virtual objects must also interact with real ones. Also, the user has the ability to interact with these virtual objects in a natural way. For example, in a mixed reality scene that simulates the passage of objects through a real production chain, these objects must replicate real-world behavior and interact with both the user and the actuators in the assembly chain. Defining mixed reality is not an easy task, because of its constant

evolution [42]. Milgran and Kishino defined it as "a mix of real and virtual objects within a single display." [5]. In 2019, Speicher et al. conducted a bibliographic review in order to provide a more specific definition of mixed reality, but their conclusion was that it "depends" [42]. Even if consensus has not been reached on the definition of MR, it is important to note that there is a difference from augmented reality (AR). Some authors describe the MR as an integration of VR and AR. In their case, Tepper et al. noted: "mixed reality merges many of the benefits of virtual reality and augmented reality" [43]. In other words, they offer the capabilities of a virtual world, where everything that happens is controlled by software, along with the user's perception of the real world. Analyzing the devices currently available on the market, the most commonly used is the Microsoft HoloLens device. HoloLens is a Head Mounted Display (HMD) so it is placed on the head without the need to hold other devices on the hands. Version 2 is currently on the market. These devices offer a range of possibilities to define the experiences available to users. The main features of HoloLens are [44]: (1) head and eye tracking system; (2) microphone for voice commands; (3) accelerometers for the user's motion control, based on the acceleration of the head; (4) hand and finger tracking by computer vision and depth sensors. Also noteworthy are the actions that can be achieved by the use of hands. Microsoft HoloLens has a very efficient gesture recognition system (e.g. hand closure, thumb grip and index finger, or select using index finger) (Fig. 3).

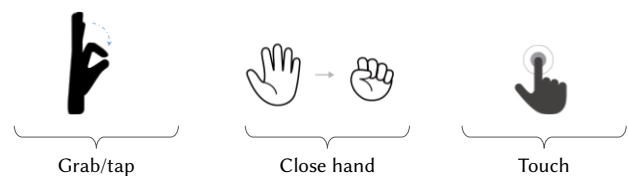


Fig. 3. HoloLens 2 gestures examples [45].

However, the HoloLens device also has limitations, as do any technology. For gestures, content creators should build virtual experiences according to the HoloLens detection system, since hands can be hidden when using cameras and therefore their actions will not be detected. Research on virtual reality has accelerated the application of mixed reality in different cases of use. However, it is important not to consider that MR is simply an evolution or improvement of AR. This confusion may stem from the fact that the MR is a post-AR technology, but MR is really a technology that explores a different position from the "virtual continuum". Mixed reality makes digital information ubiquity possible, which has led to a significant increase in its application in the industry [46]. Previous research in augmented reality has facilitated the rapid reception of the MR. This is because some limitations of AR have been corrected by the new capacities provided by the MR [47]. The main applications of this technology in the industry support work at different points in the production chain. This support has mainly involved the incorporation of digital information into the execution of tasks [48]. Some of the most interesting applications are those related to the design of vehicles using aggregated information [49]. Another example is the adoption of the MR to offer operators a new user interface while working alongside robots or remotely with complex devices [50] [51]. It can be noted that significant efforts have been made in the scientific community to integrate the MR into the aviation industry, with particular emphasis on its airplane maintenance lines [52] [53] [54] [55] [56] [57]. The voice command interaction provided by the HoloLens [58], together with the ability to provide information and designs at the operator's workplace, makes the MR a key tool for productivity improvement in the coming years [49] [59] [60], as well as for design, maintenance, security and quality control in the industry [48]. Likewise, the ability to interact and expose digital information in a real environment has made the MR a tool of relevance

in the field of education and training in the industry [60]. The MR has been used in training to learn how to react in situations of risk [61] [62], or to provide a training environment for the performance of real tasks, greatly enriching the traditional training experience [63]. This improvement is seen in the new ways of training health care workers, taking advantage of the mixed reality both in tasks of special difficulty and in other everyday tasks such as stitching a patient [64]. These new VR and MR tools offer an opportunity to evolve educational and training methodologies [65]. Therefore, the MR is a tool that can be used in many areas such as industry, education, medicine, etc. The adoption of these new tools requires a proper process, since interaction with these elements may not be simple and therefore be rejected by users. For this reason, a process of user training must precede any action to implement a MR tool [48]. In addition, the degree of user acceptance will influence the success of the implementation of mixed reality tools as a support element in the execution of a task [59].

### C. Occupational Safety and Health

The OSH is a important challenge that affect to the whole people around the world. In 2018 in EU27 3.1 million of the non-fatal accidents occurred, and 3.110 fatal accident, other study, conducted by Hämäläinen et al. reports that in 2014 the world saw 373 million accidents at work [66]. According to the study carried out by Takala, the number of deaths due to professional illness is 2 million and the number caused by an occupational accident is more than 300,000 [67]. The Global Burden of Disease Study of 2015 revealed that 5% of active people's mortality is due to occupational accidents or professional illnesses [68]. Without belittling the importance of protecting the human lives involved, a major component is the economic impact that the safety and health of workers can have on companies and, in general, on the national economy. According to the study by Buerau of Economic Analysis, the estimated cost of work-related accidents and professional illnesses is between \$200-550 billions [69]. These data reveal the important problem of workers' safety and health, which justifies the need for tools that help reduce these figures. These circumstances have led to significant increase in OSH research in recent years. Early research in this field comes from other areas, such as medicine [70], although it is already a research field in itself that is of great interest. Its relevance in terms of economic cost and human lives, has led us to analyse the relationships between employees' factors and their working environment that can determine the context for a potential occupational accident [71].

## III. MOTIVATION AND METHODOLOGY

From the study of the OSH situation in Europe and the world we can conclude that we can help the society with new tools and solutions to try to help the amount of people that could have accidents at work. The best way to help the workers is to provide them with the knowledge about how to avoid the accident or, if an accident occurred, how to get a safe him/herself and him/her colleagues. However, it is necessary to help the company with the best tools to train the whole workers team and do this training process like a easy, rapid and cheap way. Today, human augmentation is a technology with great capacity to apply in several user cases. From human augmentation, the authors have selected mixed reality technology as it offers a new way of interaction between the users and digital solution. With mixed reality a user can see a digital 3D object in the same point of view as the real environment, and if we use the HoloLens2 as HMD the user can see and interact with the 3D object thanks to the HoloLens2 gesture and voice recognition. In the literature we find several different approaches of mixed reality with workers to help to do different tasks or help to learn several concepts or processes. So, the researchers create several mixed reality experiences for each paper. Thus, this is the same situation

that slows down the application of the virtual reality application in engineering, construction and industry [14] [15] [16]. For this reason and using the literature review the authors introduce the Training-MR. It is a solution to help the mixed reality application in the whole industry 4.0 OSH prevention training process for any type of company. Furthermore, Training-MR helps to democratisation of the technology application because it reduces the cost and time spent by the entities to create, test and publish the mixed reality experiences.

### A. Methodology

The creation of the Training-MR was carried out under an agile development method. The methodology chosen by the authors was Scrum. This methodology offers a great capacity to modify the objectives and tasks in a development team depending on the results that occur in each Sprint [72]. Scrum is a development methodology that works very well in research and development projects because the probability of unexpected events is very high as these are projects where uncertainty is important. Thus, development has been divided into two phases.

- Concept phase. The aim of this phase is to reduce the uncertainty of the project. Several proofs of concept (PoC) have been carried out in order to assess whether the mixed reality technology was mature enough to be applied to the project. A laboratory test of the capabilities offered by mixed reality can be seen in Fig. 4. Here the authors check several proofs of concept to use MR as a tool to create MR experiences [73]. During this phase, the state-of-the-art analysis of scientific advances related to the project was also carried out, and the whole requirements list was defined.
- Development phase. This corresponds to the important stage, during which different iterations of the work have been developed in scrum methodology in order to extend the features of Training-MR.

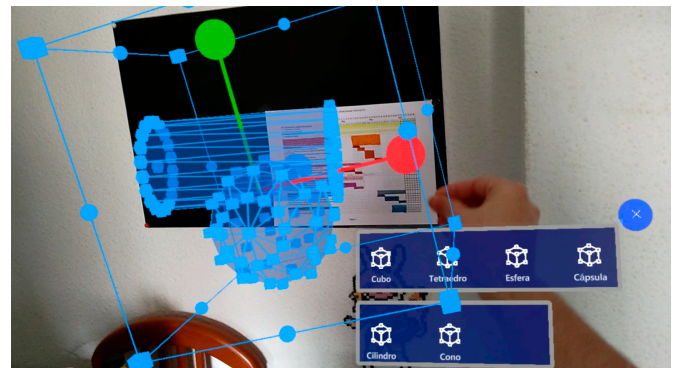


Fig. 4. PoC of the mixed reality capacity to interact with the user and virtual 3D object.

## IV. TECHNICAL DESCRIPTION

Focusing on the technical description, if we use a high level point of view then the Training-MR has 3 major modules working together. The modules are shown in Fig. 5 and are as follows:

- Editor: the module used to create the whole virtual experience. This module works as a plugin of Unity3D(<https://unity.com/>) to assist the creation process. Editor is composed of tools to render the scene, create a set of different kinds of components and config. them. The Editor is key to solving the cost problem since tools and functions are designed to reduce the time to create a MR experience. At the end of the creation process, the users can send the experience to the cloud for use in the training process.
- Cloud: it is the most important module when the mixed reality



experiences are running. Cloud has the responsibility to manage the whole process in the experience. It is a communications hub that processes all events to determine if it is necessary to run a kind heavyweight algorithm.

- Glasses Client: this module runs in the user devices, and it is the first controller of virtual components behavior. The functions of the Glasses Client are: (1) render the scene, process common behaviour, (2) maintain synchronized event queue with the cloud to process all users actions (3) send all event data to the the Cloud, and (4) collect all data from the user experience to be sent to the cloud.

Editor	Cloud	Glasses Client
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Collect all components</li> <li>+ Create experiences</li> <li>+ Publish experiences in the cloud</li> <li>+ Test experiences</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Collect all data form experiences</li> <li>+ Expose Event API</li> <li>+ Help to Client glass to run experiences</li> <li>+ Store all published experiences</li> <li>+ The trainers can program the training to the users</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Render the experiences</li> <li>+ Process componen's common behaviours</li> <li>+ Send the events data to the cloud</li> <li>+ Send whole data from the user experience</li> </ul>

Fig. 5. Main requirement of the Training-MR modules.

However, the Editor module works isolated at the beginning of the workflow. Two kinds of important data can be highlighted in the workflow of the Training-MR: the virtual experience descriptor and the event descriptor. The first one is a high weight structure of data where any information can be found to create and run the virtual experience. The other one is a lightweight message between glasses and the cloud to process all actions in the MR experience. The virtual experience descriptor is introduced below, together with the event message in the "Communication issue" section.

**A. Virtual Experience Descriptor**

It corresponds to the core data of any experience in the Training-MR and where information about any element in the virtual experience can be found. This descriptor is an attribute-value file in the JSON language. The most important parts in the descriptor are listing below:

- General data: data to describe the virtual experience, the most important property is the ID Virtual experience, needed to associate the running with the virtual experience in the cloud.
- Scenes descriptions: it constitutes a long list of the components in the catalog. The values of the whole properties of all components can be found here. The exception is the url to download the 3D assets used to render the elements.
- 3D Assets URL: the list of the urls to download 3D assets. These data are split off from the other properties for cybersecurity reasons.

Fig. 6 shows a fragment of the descriptor file. In this example the object "wear" and the parameters such as id, index, onValidSnapEvent, among others, are described.

**B. High Level of the Workflow**

In normal execution, the Editor does not participate in the run. The reason is that it is usually used to create the experience. Thus, the workflow starts in the glasses client when the user runs our application. The steps to be taken for the execution of the experience are described below and shown in the workflow diagram in the Fig. 7.

1. Start: at the beginning, the users wait for the experience in the hall. The hall is a welcome scene where the users can also interact with some dummy components. These components have been selected to help the user get familiar with the gestures, actions and behaviours from the components.

```

"wear": {
  "head": {
    "validObjectTags": [
      "helmet",
      "cap",
      "helmet"
    ],
    "validObjects": [
      {
        "gameObject": {
          "instanceID": -54456
        },
        "id": -54456,
        "index": 10,
        "key": "Object_ConstructionHelmet",
        "path": "Assets/Fidesol/Prefabs/Objects/ConstructionHelmet.prefab",
        "name": "ConstructionHelmet(Clone)"
      }
    ]
  },
  "onValidSnapEvent": "Casco correcto puesto",
  "onValidUnsnapEvent": "None",
  "onUnvalidSnapEvent": "Casco incorrecto puesto",
  "onUnvalidUnsnapEvent": "None"
},
    
```

Fig. 6. Example of the mixed reality experience descriptor file.

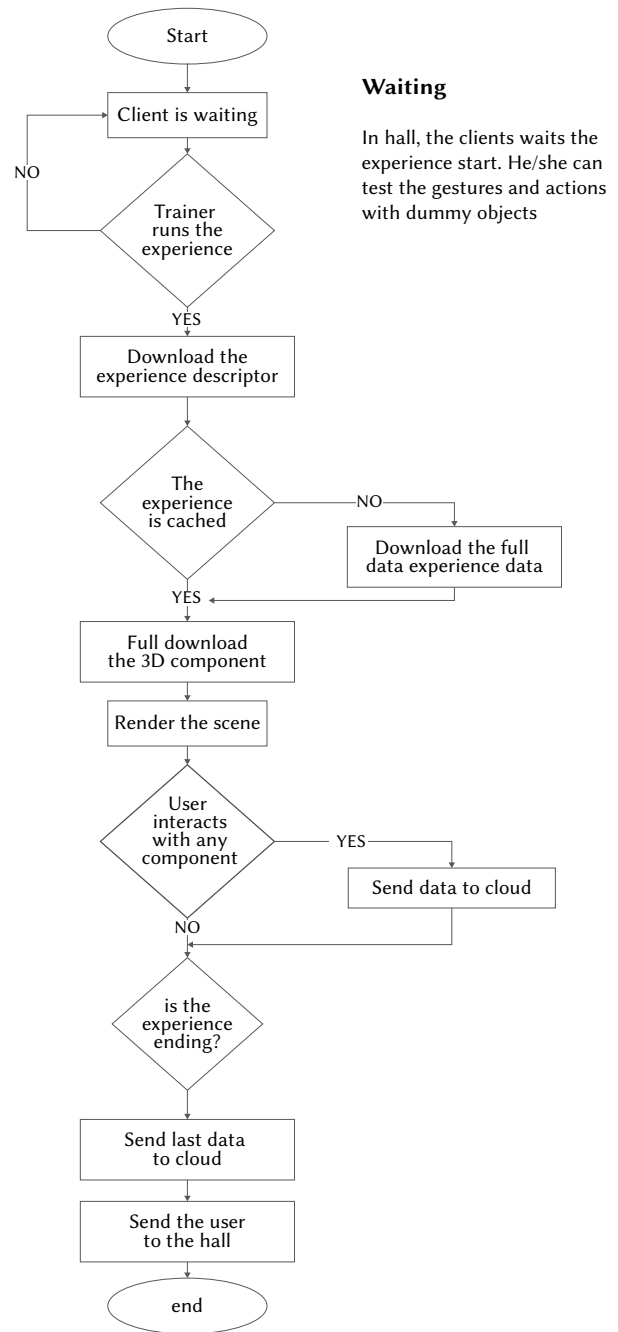


Fig. 7. High level of the Training-MR workflow.

2. Load the experience: when the trainer has been selected by the cloud, the glasses client receives one message by web sockets. At this moment, the glasses client checks if the experience exists in the experiences cache then loads from the cache. If it is not cached, the app downloads the full description from the cloud.
3. Start the render process: the 3D engine runs the virtual experience, and prepares all logic subcomponents to be used in the execution, such as: event queue manager, communication abstraction layer, 3D components catalog and many others. Now the workflow is a list of events that have been triggered by the user. The glasses client runs different behaviours from the 3D components and sends several messages to the cloud.
4. End of the experience: this happens when the user successfully performs the last task. The glasses client runs the final actions to close the experience and moves the user to the hall, cleans the memory, sends data from the experience to the cloud, and performs other functions required to prepare the glasses client to run another experience.

### C. Training-MR Description

At this point, once the virtual experience descriptor is known, it is needed to describe the Training-MR in more detail. This description is faced by differentiating the following parts: (1st) the cloud and the glasses are described together to facilitate their understanding given their interconnection, (2nd) we introduce the Editor and how it works (3rd) finally, the communication section exposes how the client and cloud share information, and the process by which data are protected from cyberattacks.

#### 1. The Cloud and Glasses Client

It is important to analyse together the Cloud and the Glasses Client, since the design decisions of both are interconnected. Therefore, in a common case of use, a large number of requests are sent to the Cloud from all the glasses clients that are running at the same time. In this way, the microservices architecture in the Cloud is selected. Microservices architecture allows the rapid scale of services in peak requests, so the platform automatically reduces these services when the number of requests returns to normal. Services have been designed with Stateless Design Pattern [74], so they are run in an isolated way and endpoints of the public API have been designed to solicit whole data to process. Furthermore, in our solution there are no links or relationships between two services. The technology used to scale services is Docker. On the other hand, the main workflow is the one that takes place in the Glass Client. The Cloud is an unlimited resource to send and request data, from Glass Client's point of view. The Glasses Client workflow acts as an action dispatcher. When an input is detected (for example, user actions), the Glasses Client processes the action according to its code. For this reason the Glasses Client is an Event-driven Architecture solution [75]. The Event-driven

Architecture focuses the workflow on event processing. An event could appear for several causes, in our case, the user will be the most important event generator, moreover events from the cloud can also occur. The most important code component in Glasses Client is the Event Queue, where the events are waiting to be processed. Not all events are considered in the same way, so user events are priorities because their delay could cause the freeze or user view error.

The Glasses Client works as a Thin Client in our scheme, so the user could interact with any component that the glasses has rendered. The 3D components present a behaviour similar to the sequence diagram shown in Fig. 8. The sequence starts when the user interacts with the component, which provokes the invocation of the EventManager. The EventManager has the responsibility to start the communication process with the Cloud and invoke de virtual component to modify its properties. Once the response from the Cloud is received by the glasses, virtual component invocation occurs. The properties of the virtual component could be modified in two ways. The first one through a simple action such as launching or moving an object, etc. The second way allows the modification of virtual components with the result of the heavyweight algorithms from the Cloud.

#### 2. Communication Issues

The presented workflow between the Cloud and the Glasses Client must deal with a large number of requests. The Cloud has a Restful API pattern programmed with JSON language. Restful API is a lightweight API standard in Internet services. The Training-MR has a lot of endpoints to manage all information such as User, Student, or Experience, among others although the most important is the ExerciseEvent. The responsibility of the ExerciseEvent is to manage all events for the experiences. However, the API Rest does not handle all communications. When one experience has started, a special message is sent to the Cloud in order to create one web socket between the Cloud and the Glasses Client. The web socket is a channel used by the Cloud to communicate asynchronous data to the Glasses Client. For example, when a heavyweight algorithm process has finished the result should be sent to the Glasses Client that has invoked the algorithm.

**Event message** An event message is sent to the Cloud caused by a certain trigger or behaviour. The events are usually triggered by the glasses to the Cloud, but there can also be events created and triggered by the Cloud. An example of these events are those from the trainers (actions such as force stop or communication). The Event message has been designed with a short and simple structure. This decision is based on a design that ensures fast message processing. There are different types of messages, but they all have the same properties as the following:

- Type: Type Event.
- ID Virtual Experience: used by the Cloud to identify the virtual

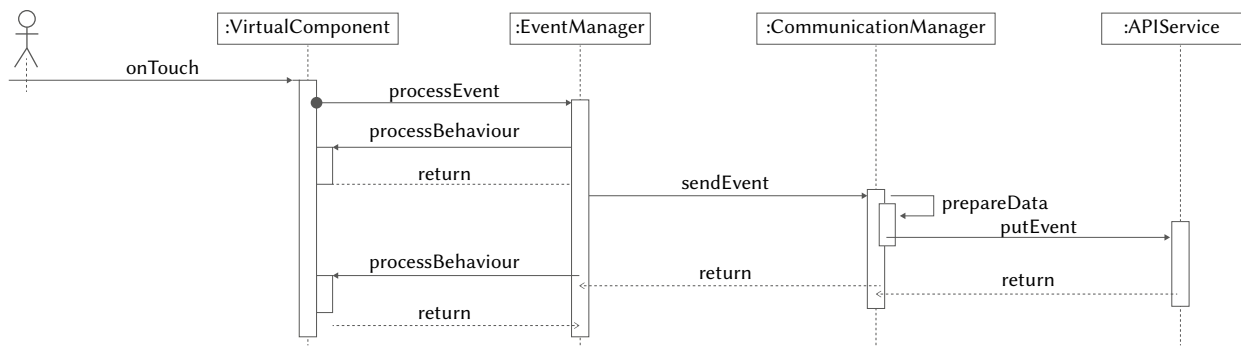


Fig. 8. Sequence diagram of Glasses Client and Cloud.

experience.

- ID running: used by the Cloud to identify a particular execution in any glasses.
- ID user: user running the experience.
- timestamp: timestamp from the glasses.
- time: run time measured in milliseconds. Zero corresponds to the beginning of the MR experience.

Some of the Event messages properties can be customized, which are collected in a list of key-values. Data from the experience are processed in the Cloud to determine whether it is necessary to run a heavyweight algorithm, although all data are always collected and stored in a database. The database selected in the Training-MR is NoSQL instead of the traditional SQL, due to the need for flexibility to store different data sets together and the unknown structure of data from future Event messages. These data will be of particular relevance for analysis in order to know how users interact with mixed reality.

### 3. Cybersecurity Issues

Cybersecurity is currently a must-have feature in any software or ICT platform, due to the increase in the value of data in recent years. Two types of data coexist in our platform: virtual reality description data, and data related to user interaction in the virtual experience. The first group can contain information from a company, being the end point at which a hacker could steal technical information, for example the end point where a hacker could download a 3D asset and in this way, he/she could steal the technical information. The second group is the data about how the users interact in the experience, this data set could be analysed to determine a lot of information about the industrial process on which the training was designed. To protect these data the solution created has:

- API Key: API requests have parameters about the code that did the request, this is the API KEY, a unique application identifier (code) and it is hardcore in the code so, allows the block of all requests when a cybersecurity attack has occurred.
- Encrypted communication end to end: Communications use SSL encryption for data protection when transmitted over the Internet. In this way, the information will not be understood, if any hacker attempts to sniff the network traffic.
- Encrypted store: Data are encrypted before being stored in the NoSQL database. Moreover, when the glasses caches the data for future use, the virtual experience descriptor is encrypted also.

### 4. The Editor

The Editor is a module that works isolated from the entire solution. The main objective of the Editor is to provide a toolbox to help content creators. Key components are listed below:

- 3D Viewer. It is the most important requirement because the creator needs to design a 3D scene that will be rendered by the MR glasses. The user selects components from the virtual components catalog to be assigned to the 3D scene. The user must set the

properties of these 3D components, such as, physical properties and simple actions (touch, grip, push, etc), among others. At the end of the process, the creator gets the virtual scene with all items positioned on the 3D scene, and all the 3D components completely parameterized.

- 3D Catalog. The 3D Catalog and the 3D Viewer work together. The catalog is a powerful generic 3D component search tool to be used for creating scenes. The 3D components that appear in this catalog are the high abstraction of the tools, situations or triggers.
- Scene tester. Test scenes are fundamental in the creation process. For example, the creator might need to test the different settings in the scene or probe the relationship between two objects. The Editor allows the creator to test the scenes quickly and easily.
- Publish the mixed reality experience. The Editor and the Cloud are linked. At the end of the process, the creator will upload the mixed reality training to the Cloud. This action will not be available to all users, but only trainers selected by the creator will be able to access this new MR experience.

In order to provide an example of how the Editor works, its application is exposed for selecting the correct electrical wire with an alligator clip. In Fig. 9, a scheme of the proposed virtual scene is displayed. The creator has to describe: the alligator clip, the electrical wires and the triggers (one right option and two wrong). It is important to highlight that these items should be selected by the creator from the Catalog: the physical object for the electrical wires, a hand object to abstract the alligator clip that will be grabbed by the user, and the trigger zone attached to the electrical wires (represented in the scheme by the blue items around the electrical wires). The electrical wires and the alligator clip are physical objects, so the creator has to set their physical properties such as weight, and 3D assets, etc. The triggers are components that do not have 3D assets, weight or physical behaviour, but require a special event when the area is touched by the alligator clip. This contact does not cause movements but the test reaction, to identify whether the action has been successful or not.

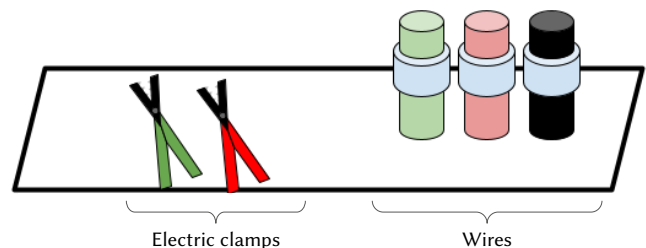


Fig. 9. Example schema of the MR virtual scene example.

Finally, a simple example is provided to describe the workflow of the Editor, although it allows the creator to compose complex behaviours and trigger hierarchical events. Fig. 10 shows the definition of the workflow from a real virtual scene in which the trigger identifies as a failure the lack of worker protection equipment in a welding training.

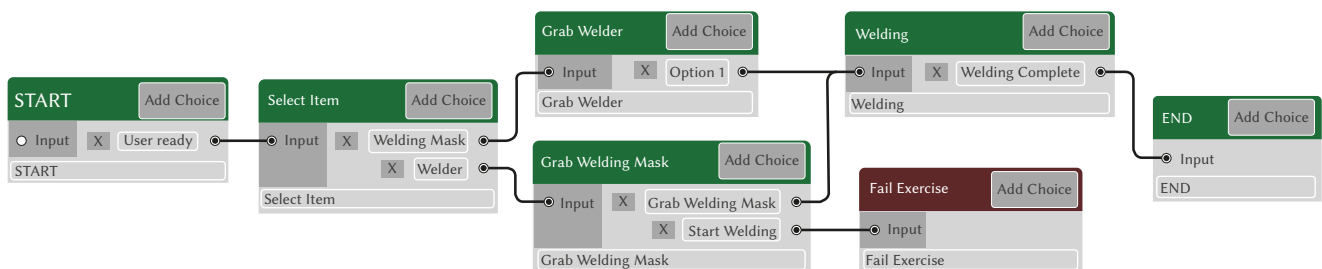


Fig. 10. Example the trigger and behaviour composition in the Editor.

TABLE I. RESUME OF THE MR/VR SOLUTIONS

Feature	Training - MR	Blufamsterdam technology	Neurodigital tech	ClassVR
Mixed reality technology	OK	OK	NO	NO
Creation content toolkit	OK	NO	With SDK	NO
Publication capacity	OK	NO	NO	NO
Cyber security design	OK	Without details	Without details	OK

Therefore, the great potential of the Editor makes it possible for users to quickly and easily create mixed reality experiences. Moreover, it is necessary to improve the speed to create MR experience because the economical cost is a high stopper to apply MR as a tool, thus the Training-MR helps to improve training especially in occupational health and safety by not compromising the integrity of the workers.

#### D. Discussion and Conclusion

Virtual reality and mixed reality correspond to new technologies that can be adopted in the productive processes of companies belonging to different sectors of activity. Researchers have tried to develop solutions that apply augmented reality to solve problems in different fields such as education, industry, engineering, and so on. Mixed reality allows us to go one step further. MR is a powerful tool to improve user training and education as they can interact with both digital and real components at the same time. However, the adoption of MR as a training tool presents the same problems identified for the application of virtual reality [14] [15] [16]. These are the high costs and excessive time required for implementation. The solution to create, test, and publish MR experiences presented in this paper. Training-MR is a solution to all of the problems mentioned above. The main advantages achieved with this tool are listed below:

- From the user perspective, the MR experience is a service from the Cloud. The Glasses Client is a dummy application that only detects the user actions to send requests to the Cloud and process the response data.
- The architecture has been designed to be scalable based on the number of the requests. Therefore, the Cloud can respond to any number of Glasses Clients worldwide.
- The Glasses Client has been designed to prioritize the reaction of user actions to avoid the freezing effect. The Event-driven Architecture enables the prioritization of user events, queuing the least relevant events.
- Training-MR has been built on the principles of cybersecurity and best practices applied to information security. Cybersecurity requirements have been addressed integrated into the platform considering their efficiency and optimization, resulting in a fully secure platform.
- Training-MR, with its Editor, allows to the user to create easy, quickly and quality mixed reality experiences and test these to fix problems or improve the scenes
- A user can share with others the MR experiences created by Training-MR. Training-MR offers the capability to publish the MR experience in the Cloud, and these experiences can be used by other users. In this way, it helps to the democratization of the MR
- The MR experiences have been loaded into the Glasses Client in a quick and easy way. Users can interact with MR experience and improve their knowledge of occupational safety and health.

We compare Training-MR with other public solutions to train the OSH prevention process. Nowadays, the most common situation is that the entities with know-how of the OSH training or experience in virtual reality solutions do not have mixed reality solutions. The

most important features to help the easy and rapid application of the mixed reality solutions are used to compare the solutions. These features are: capacity to help to create experiences, mixed reality experiences, experience public capability, cybersecurity design. The Table I resumes our review with other products. It is not common to find solutions with MR technology and usually are for entertainment business. Virtual reality for education and training proposals is more common. Other products are only a set of VR experiences of several kinds of topics. This is the ClassVR case. Rarely find solutions to create content with tools from VR technology owner, and the tools are a SDK to create content by code develop. The public information about the solutions does not explain any cyber security issues.

Our platform is currently in the laboratory testing phase. This phase has taken place after the research team has conducted certain relevant tests, from which a set of MR experiences have been created and will be tested by control users. These users will select an experience, choosing between virtual reality or augmented reality, depending on their knowledge of each technology. After this test with the control users, a final phase called "pilot experience" will be created. In this phase the platform will be tested for training common users in a set of mixed reality controllers. Despite the platform's advantages, this study is not without limitations:

- Gestures. Hololens2 is the most powerful MR device but has a limitation in terms of gesture recognition. It is not possible to recognize a movement that happens behind the user, just as it does not detect an object that is covered by another.
- Multiplayer experience. The platform currently does not allow the creation of a multiplayer MR experience. In the future, special attention will be given to collaborative training.
- Teacher assistance. This has close relationships with the multiplayer. The platform does not currently allow to introduce the teacher's actions into the MR experience as in any learning process in which the teacher interacts with the student.
- Real test. Once the pilot experience is completed, it would be of great importance to test the platform in an industrial environment. To test the components, behaviours, and results of the training in occupational safety and health to validate the MR as a powerful tool for this learning.
- Data analysis. Our platform generates a huge set of data for every MR experience. These data are of great value because their analysis will allow to establish relationships between variables specific to workers with the conditions of the workplace and the use of tools, in order to determine the situations that could lead to an occupational accident or a professional illness.

#### ACKNOWLEDGMENT

The whole Fidesol team for the great work and capacity in "Interacción y Programación Inteligente para la Industria 4.0 a través de la Realidad Mixta y Fabricación Aditiva" project with code "PY18-RE-0024".

## REFERENCES

- [1] A. P. Botha, "Rapidly arriving futures: Future readiness for industry 4.0," *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 29, nov 2018, doi: 10.7166/29-3-2056.
- [2] J. A. Saucedo-Martínez, M. Pérez-Lara, J. A. Marmolejo-Saucedo, T. E. Salas-Fierro, P. Vasant, "Industry 4.0 framework for management and operations: a review," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 9, pp. 789–801, jun 2017, doi: 10.1007/s12652-017-0533-1.
- [3] J. Sengupta, S. Ruj, S. D. Bit, "A secure fog- based architecture for industrial internet of things and industry 4.0," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, pp. 2316–2324, apr 2021, doi: 10.1109/tii.2020.2998105.
- [4] J. L. Ruiz-Real, J. Uribe-Toril, J. A. Torres, J. D. Pablo, "Artificial Intelligence in Business and Economics Research: Trends and Future," *Journal of Business Economics and Management*, vol. 22, pp. 98–117, oct 2020, doi: 10.3846/jbem.2020.13641.
- [5] P. Milgram, F. Kishino, "A taxonomy of mixed reality visual displays," *IEICE Trans. Information Systems*, no. 12, pp. 1321–1329, 1994.
- [6] M.-D. González-Zamar, E. Abad-Segura, "Implications of virtual reality in arts education: Research analysis in the context of higher education," *Education Sciences*, vol. 10, p. 225, aug 2020, doi: 10.3390/educsci10090225.
- [7] J. Wolfartsberger, "Analyzing the potential of virtual reality for engineering design review," *Automation in Construction*, vol. 104, pp. 27–37, aug 2019, doi: 10.1016/j.autcon.2019.03.018.
- [8] J. M. Lombardo, M. A. Lopez, M. López, M. León, F. Miron, J. Arambarri, D. Álvarez, "MOBEEZE. natural interaction technologies, virtual reality and artificial intelligence for gait disorders analysis and rehabilitation in patients with parkinson's disease," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 6, p. 54, 2019, doi: 10.9781/ijimai.2019.07.003.
- [9] Y.-C. Du, S.-C. Fan, L.-C. Yang, "The impact of multi-person virtual reality competitive learning on anatomy education: a randomized controlled study," *BMC Medical Education*, vol. 20, oct 2020, doi: 10.1186/s12909-020-02155-9.
- [10] D. V. Joao, P. Z. Lodetti, A. B. dos Santos, M. A. I. Martins, S. de Francisci, J. F. B. Almeida, "Augmented reality application to assist in on-field activities on the electrical sector," in *2021 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, feb 2021, IEEE.
- [11] Y. Dan, Z. Shen, Y. Zhu, L. Huang, "Using mixed reality (MR) to improve on-site design experience in community planning," *Applied Sciences*, vol. 11, p. 3071, mar 2021, doi: 10.3390/app11073071.
- [12] E. Bottani, F. Longo, L. Nicoletti, A. Padovano, G. P. C. Tancredi, L. Tebaldi, M. Vetrano, G. Vignali, "Wearable and interactive mixed reality solutions for fault diagnosis and assistance in manufacturing systems: Implementation and testing in an aseptic bottling line," *Computers in Industry*, vol. 128, p. 103429, jun 2021, doi: 10.1016/j.compind.2021.103429.
- [13] "Employer-reported workplace injuries and illnesses 2016," Bureau of labor statistics. U.S Department of labor, 2016.
- [14] J. M. D. Delgado, L. Oyedele, P. Demian, T. Beach, "A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 45, p. 101122, aug 2020, doi: 10.1016/j.aei.2020.101122.
- [15] J. Wan, Y. Zheng, Y. Li, H. Mei, L. Lin, L. Kuang, "Oil depot safety inspection and emergency training system based on virtual reality technology," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 782, p. 042018, apr 2020, doi: 10.1088/1757- 899x/782/4/042018.
- [16] J. S. D. Orlean G. Dela Cruz, "Virtual reality (vr): A review on its application in construction safety," *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education*, vol. 12, no. 11, pp. 3379–3393, 2021.
- [17] R. R. Nick Bostrom, "Ethical issues in human enhancement," *New Waves in Applied Ethics*, pp. 120– 152, 2008.
- [18] T. Garcia, R. Sandler, "Enhancing justice?," *NanoEthics*, vol. 2, pp. 277–287, nov 2008, doi: 10.1007/s11569-008- 0048-5.
- [19] Z. Li, "Ethical problems concerning human augmentation technology and its future aspects," in *Proceedings of the 7th International Conference on Humanities and Social Science Research (ICHSSR 2021)*, 2021, Atlantis Press.
- [20] R. Raisamo, I. Rakkolainen, P. Majoranta, K. Salminen, J. Rantala, A. Farooq, "Human augmentation: Past, present and future," *International Journal of Human- Computer Studies*, vol. 131, pp. 131–143, nov 2019, doi: 10.1016/j.jhcs.2019.05.008.
- [21] E. Pietrafesa, S. Iavicoli, A. Martini, R. Simeone, Polimeni, "Occupational safety and health education and training: an innovative format and experience," in *6th International Conference on Higher Education Advances (HEAd'20)*, jun 2020, Universitat Politècnica de València.
- [22] P.-E. Boileau, "Sustainability and prevention in occupational health and safety," *Industrial Health*, vol. 54, no. 4, pp. 293–295, 2016, doi: 10.2486/indhealth.54-293.
- [23] A. Simeone, A. Caggiano, L. Boun, R. Grant, "Cloud- based platform for intelligent healthcare monitoring and risk prevention in hazardous manufacturing contexts," *Procedia CIRP*, vol. 99, pp. 50–56, 2021, doi: 10.1016/j.procir.2021.03.009.
- [24] R. Suganya, S. Gowtham, "Individual health and safety monitoring of workers in deep underground mines using IOT," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1717, p. 012044, jan 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1717/1/012044.
- [25] M. B. V. kumar, M. B. Jayasree, M. D. Kiruthika, "Iot based underground coalmine safety system," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1717, p. 012030, jan 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1717/1/012030.
- [26] V. Jayasree, M. N. Kumari, "IOT based smart helmet for construction workers," in *2020 7th International Conference on Smart Structures and Systems (ICSSS)*, jul 2020, IEEE.
- [27] I. Campero-Jurado, S. Márquez-Sánchez, J. Quintanar- Gómez, S. Rodríguez, J. M. Corchado, "Smart helmet 5.0 for industrial internet of things using artificial intelligence," *Sensors*, vol. 20, p. 6241, nov 2020, doi: 10.3390/s20216241.
- [28] M. A. Gigante, "Virtual reality: Definitions, history and applications," in *Virtual Reality Systems*, Elsevier, 1993, pp. 3–14, doi: 10.1016/b978-0-12-227748-1.50009-3.
- [29] S. S. Kardong-Edgren, S. L. Farra, G. Alinier, H. M. Young, "A call to unify definitions of virtual reality," *Clinical Simulation in Nursing*, vol. 31, pp. 28–34, jun 2019, doi: 10.1016/j.cens.2019.02.006.
- [30] F. Quigley, A. Moorhead, R. Bond, H. Zheng, T. McAloon, "A virtual reality training tool to improve weight-related communication across healthcare settings," in *Proceedings of the 31st European Conference on Cognitive Ergonomics*, sep 2019, ACM.
- [31] E. A.-L. Lee, K. W. Wong, C. C. Fung, "How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? a structural equation modeling approach," *Computers & Education*, vol. 55, pp. 1424–1442, dec 2010, doi: 10.1016/j.compedu.2010.06.006.
- [32] C. A. Cohen, M. Hegarty, "Visualizing cross sections: Training spatial thinking using interactive animations and virtual objects," *Learning and Individual Differences*, vol. 33, pp. 63–71, jul 2014, doi: 10.1016/j.lindif.2014.04.002.
- [33] N. Bouali, E. Nygren, S. S. Oyelere, J. Suhonen, V. Cavalli-Sforza, "Imikode," in *Proceedings of the 19th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*, nov 2019, ACM.
- [34] S. Greenwald, A. Kulik, A. Kunert, S. Beck, B. Frohlich, S. Cobb et al., *Technology and applications for collaborative learning in virtual reality*. 2017.
- [35] T. Civelek, E. Ucar, H. Ustunel, M. K. Aydin, "Effects of a haptic augmented simulation on k-12 students' achievement and their attitudes towards physics," *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 10, dec 2014, doi: 10.12973/eurasia.2014.1122a.
- [36] C. Porter, J. Smith, E. Stagar, A. Simmons, M. Nieberding, C. Orban, J. Brown, A. Ayers, "Using virtual reality in electrostatics instruction: The impact of training," *Physical Review Physics Education Research*, vol. 16, sep 2020, doi: 10.1103/physrevphyseducres.16.020119.
- [37] R. H., "Development of virtual reality training for fire safety education," *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, vol. 9, pp. 5906–5912, aug 2020, doi: 10.30534/ijatcse/2020/253942020.
- [38] T. Pitana, H. Prastowo, A. P. Mahdali, "The development of fire safety appliances inspection training using virtual reality (VR) technology," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 557, p. 012064, sep 2020, doi: 10.1088/1755- 1315/557/1/012064.
- [39] M. Li, Z. Sun, Z. Jiang, Z. Tan, J. Chen, "A virtual reality platform for safety training in coal mines with AI and cloud computing," *Discrete Dynamics in Nature and Society*, vol. 2020, pp. 1–7, oct 2020, doi:

- 10.1155/2020/6243085.
- [40] J. M. Lombardo, M. A. Lopez, V. García, M. López, R. Cañadas, S. Velasco, M. León, "PRACTICA. a virtual reality platform for specialized training oriented to improve the productivity," *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 4, p. 94, 2019, doi: 10.9781/ijimai.2018.04.007.
- [41] M. A. Lopez, J. M. Lombardo, R. González-Crespo, "Educon 2021-creame: human augmentation platform for the recreation of training in educational lakes inherent todangerous situations." 2021.
- [42] M. Speicher, B. D. Hall, M. Nebeling, "What is mixed reality?," in *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, may 2019, ACM.
- [43] O. M. Tepper, H. L. Rudy, A. Lefkowitz, K. A. Weimer, S. M. Marks, C. S. Stern, E. S. Garfein, "Mixed reality with HoloLens," *Plastic and Reconstructive Surgery*, vol. 140, pp. 1066–1070, nov 2017, doi: 10.1097/prs.0000000000003802.
- [44] Microsoft, "Hololens 2 techspec," [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/d/hololens-2/91pnzznzwp?activetab=pivot:techspecstab>.
- [45] Microsoft, "Hololens 2 gestures for authoring and navigating in dynamics 365 guides," [Online]. Available: <https://docs.microsoft.com/en-us/dynamics365/mixed-reality/guides/authoring-gestures-hl2>.
- [46] S. Rokhsaritalemi, A. Sadeghi-Niaraki, S.-M. Choi, "A review on mixed reality: Current trends, challenges and prospects," *Applied Sciences*, vol. 10, p. 636, jan 2020, doi: 10.3390/app10020636.
- [47] R. G. Boboc, F. Girbacia, E. V. Butilă, "The application of augmented reality in the automotive industry: A systematic literature review," *Applied Sciences*, vol. 10, p. 4259, jun 2020, doi: 10.3390/app10124259.
- [48] W. Kurschl, S. Pimminger, J. Schönböck, M. Augstein, J. Altmann, "Using mixed reality in intralogistics - are we ready yet?," *Procedia Computer Science*, vol. 180, pp. 132–141, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.136.
- [49] A. Kaluza, M. Juraschek, L. Büth, F. Cerdas, C. Herrmann, "Implementing mixed reality in automotive life cycle engineering: A visual analytics based approach," *Procedia CIRP*, vol. 80, pp. 717–722, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2019.01.078.
- [50] B. Bejczy, R. Bozyl, E. Vaičekauskas, S. B. K. Petersen, S. Bøgh, S. S. Hjorth, E. B. Hansen, "Mixed reality interface for improving mobile manipulator teleoperation in contamination critical applications," *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 620–626, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.087.
- [51] R. Zhang, X. Liu, J. Shuai, L. Zheng, "Collaborative robot and mixed reality assisted microgravity assembly for large space mechanism," *Procedia Manufacturing*, vol. 51, pp. 38–45, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.10.007.
- [52] A. Siyaev, G.-S. Jo, "Towards aircraft maintenance metaverse using speech interactions with virtual objects in mixed reality," *Sensors*, vol. 21, p. 2066, mar 2021, doi: 10.3390/s21062066.
- [53] X. Wang, "Editorial visualization in engineering," *Visualization in Engineering*, vol. 2, mar 2014, doi: 10.1186/2213-7459-2-1.
- [54] H. Silva, R. Resende, M. Breternitz, "Mixed reality application to support infrastructure maintenance," in *2018 International Young Engineers Forum (YEF-ECE)*, may 2018, IEEE.
- [55] H. Eschen, T. Kötter, R. Rodeck, M. Harnisch, T. Schüppstuhl, "Augmented and virtual reality for inspection and maintenance processes in the aviation industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 19, pp. 156–163, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.01.022.
- [56] A. Fonet, N. Alves, N. Sousa, M. Guevara, L. Magalhaes, "Heritage BIM integration with mixed reality for building preventive maintenance," in *2017 24<sup>o</sup> Encontro Português de Computação Gráfica e Interação (EPCGI)*, oct 2017, IEEE.
- [57] J. Christian, H. Krieger, A. Holzinger, R. Behringer, "Virtual and mixed reality interfaces for e- training: Examples of applications in light aircraft maintenance," in *Lecture Notes in Computer Science*, Springer Berlin Heidelberg, 2007, pp. 520–529.
- [58] F. D. Pace, F. Manuri, A. Sanna, D. Zappia, "A comparison between two different approaches for a collaborative mixed-virtual environment in industrial maintenance," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 6, mar 2019, doi: 10.3389/frobt.2019.00018.
- [59] S. R. Sorko, C. Trattner, J. Komar, "Implementing AR/MR - learning factories as protected learning space to rise the acceptance for mixed and augmented reality devices in production," *Procedia Manufacturing*, vol. 45, pp. 367–372, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.04.037.
- [60] S. Lang, M. S. S. D. Kota, D. Weigert, F. Behrendt, "Mixed reality in production and logistics: Discussing the application potentials of microsoft HoloLensTM," *Procedia Computer Science*, vol. 149, pp. 118–129, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.01.115.
- [61] L. Wunder, N. A. G. Gomez, J. E. Gonzalez, G. Mitsova- Vladinov, M. Cacchione, J. Mato, C. L. Foronda, J. A. Groom, "Fire in the operating room: Use of mixed reality simulation with nurse anesthesia students," *Informatics*, vol. 7, p. 40, sep 2020, doi: 10.3390/informatics7040040.
- [62] H. F. Moore, M. Gheisari, "A review of virtual and mixed reality applications in construction safety literature," *Safety*, vol. 5, p. 51, aug 2019, doi: 10.3390/safety5030051.
- [63] M. Czarski, Y. T. Ng, M. Vogt, M. Juraschek, B. Thiede, P. S. Tan, S. Thiede, C. Herrmann, "A mixed reality application for studying the improvement of HVAC systems in learning factories," *Procedia Manufacturing*, vol. 45, pp. 373–378, 2020, doi: 10.1016/j.promfg.2020.04.039.
- [64] A. Rojo, L. Raya, A. Sanchez, "A novel mixed reality solution based on learning environment for sutures in minor surgery," *Applied Sciences*, vol. 11, p. 2335, mar 2021, doi: 10.3390/app11052335.
- [65] K. Kounlaxay, S. K. Kim, "Design of learning media in mixed reality for lao education," *Computers, Materials & Continua*, vol. 64, no. 1, pp. 161–180, 2020, doi: 10.32604/cmc.2020.09930.
- [66] J. T. B. K. Päivi Hämäläinen, "Global estimates of occupational accidents and workrelated illnesses 2017," in *World Congress on Safety and Health at Work 2017, 3-4 September 2017 Singapore*, 2017.
- [67] J. Takala, P. Hämäläinen, K. L. Saarela, L. Y. Yun, K. Manickam, T. W. Jin, P. Heng, C. Tjong, L. G. Kheng, S. Lim, G. S. Lin, "Global estimates of the burden of injury and illness at work in 2012," *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 11, pp. 326–337, apr 2014, doi: 10.1080/15459624.2013.863131.
- [68] H. Wang, M. Naghavi, C. Allen, R. M. Barber, "Global, regional, and national life expectancy, all- cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the global burden of disease study 2015," *Lancet*, vol. 388, no. 10053, pp. 1459–1544., 2016.
- [69] "Employer-reported workplace injury and illness - 2016," Bureau of Labor Statistics, 2017. [Online]. Available: <https://www.bls.gov/news.release/pdf/osh.pdf>.
- [70] D. Fan, C. J. Zhu, A. R. Timming, Y. Su, X. Huang, Y. Lu, "Using the past to map out the future of occupational health and safety research: where do we go from here?," *The International Journal of Human Resource Management*, vol. 31, pp. 90–127, sep 2019, doi: 10.1080/09585192.2019.1657167.
- [71] A. Kramer, S. Cho, R. S. Gajendran, "12-year longitudinal study linking within-person changes in work and family transitions and workplace injury risk," *Journal of Safety Research*, vol. 75, pp. 140–149, dec 2020, doi: 10.1016/j.jsr.2020.08.009.
- [72] K. Schwaber, "SCRUM development process," in *Business Object Design and Implementation*, Springer London, 1997, pp. 117–134.
- [73] M. A. Lopez, M. D. Ruiz, D. Alvarez, "Designme-mr: Toolbox for the creation of learning scenes to training in occupation risk prevention with mixed reality." June 2021.
- [74] L.-P. T. Kamalmeet Singh, Adrian Ianculescu, *Design Patterns and Best Practices in Java*. 2018.
- [75] M. Richards, *Software Architecture Patterns*. 2015.



Miguel Angel López

He was graduated in Technical Engineering in Computer Systems from University of Almeria, and in Computer Engineering and Master's Degree in Soft Computing and Intelligent Systems from University of Granada. At the moment, he is the CTO at Fidesol where he performs different roles. He is currently a PhD student at International University of La Rioja (UNIR). His research focuses on distributed systems, management, integration and analysis of data, robotics, fuzzy logic systems, human augmented, and the development of virtual/mixed reality environments.



[Sara Terrón](#)

PhD in Business and Economics Studies from University of Granada, was graduated in Building Engineering and Master's Degree in Integral Safety in Building from University of Seville and University of Granada. Senior technician in occupational risk prevention. Author of several papers, at Fidesol she currently focuses her research on the technological area.



[Juan Manuel Lombardo](#)

PhD in Computer Science from the Pontifical University of Salamanca, was graduated in Economics and Business Administration in the University of Granada, Spain, Diploma of Advanced Studies (DEA) in Economics from UNED, Research Sufficiency in Business Science from the Complutense University of Madrid and Diploma of Advanced Studies (DEA) in Sociology from the Pontifical University of Salamanca. He is CEO at Fidesol and Professor at Andalusia Business School. Dr. Lombardo is the author of numerous articles and research papers published in journals and books of national and international conferences. Visiting Professor at the Private Technical University of Loja (UTPL Ecuador), The National University of the Northeast (Argentina), University Francisco José de Caldas (Colombia), Catholic University of Colombia, Catholic University of Ibarra (Ecuador), University of Lisbon (Portugal) and National Engineering University (Peru). Member of the Knowledge Management committee of AEC (Spanish Association for Quality) and the Institute CICTES (Ibero-American Centre on Science, Technology and Society).



[Rubén Gonzalez Crespo](#)

Dr Rubén González Crespo is a full professor in Computer Science and Artificial Intelligence. Currently he is Vice-Rector of Academic Affairs and Teaching from UNIR. He is EiC of the International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence (SCIE), and associate editor in several indexed journals. His main research areas are Artificial Intelligence, Accessibility and TEL. He is advisory board member for the Ministry of Education in Colombia and Spain.





## CHAPTER 6

## Conclusiones

## Resumen del capítulo

*Durante este capítulo analizaremos cada uno de los objetivos específicos propuestos en esta tesis, analizando su desarrollo y cumplimiento. Con todos los objetivos específicos estudiados expondremos el análisis por el cual podemos determinar que el objetivo general está correctamente alcanzado y así podremos concluir que la hipótesis de partida está cubierta y resuelta de forma satisfactoria.*

*Finalmente, a partir de la resolución positiva de la hipótesis de partida, analizaremos la cuestión inicial que dio origen al plan de investigación, y daremos respuesta a la misma.*

*En última instancia, y como cierre de las conclusiones de los resultados de la tesis se exponen el interés de diversas empresas de calado internacional como IBM, Vector ITC Group y UCS en los resultados de este estudio como una herramienta clave en el apoyo al PRL a nivel global.*

## 6.1 Conclusiones de la tesis

Este trabajo busca la investigación en nuevas maneras de ofrecer contenidos formativos de una manera que habilite nuevos modos de aprendizaje. Con este fin se ha determinado una tecnología innovadora y de amplio auge actualmente como son las tecnologías propias de la *Human Augmentation* en general y de realidades extendidas en particular como medio para realizar una aplicación disruptiva en el modo de realizar formaciones y entrenamientos. Se ha buscado un campo de formación específico donde su aplicación puede ofrecer una solución a un problema tan importante como la seguridad en el puesto de trabajo. Y hemos teorizado sobre cómo estas tecnologías pueden ayudar a la PRL.

Para analizar la conclusión de nuestra tesis y la consecución de los objetivos realizaremos una exposición “*bottom-up*”. En primera instancia analizaremos cómo se han cubierto los objetivos específicos del proyecto, continuaremos identificando cómo la consecución de los objetivos específicos cubren el alcance del objetivo general y concluimos con la aceptación de nuestra hipótesis de partida y responderemos a la cuestión que nos hicimos originalmente. Finalmente ahondaremos en las repercusiones reales que los resultados de esta tesis están teniendo.

**OBJETIVO. 1. Estudio de las tecnologías de *Human Augmentation*, realidad virtual y realidad mixta para evaluar sus capacidades y límites con el fin de encontrar la mejor aplicación:** durante el desarrollo se ha analizado la literatura científica en la búsqueda de aplicaciones novedosas de la tecnología. Así mismo se han realizado diversas pruebas de concepto para conocer los límites de la tecnología que hemos utilizado. La realidad mixta, al ser la tecnología más reciente también es la más desconocida y se realizaron multitud de pruebas de laboratorio para conocer las capacidades reales de interacción gesticular, capacidad de cómputo y comunicación. De estas pruebas se extrajeron las conclusiones que han sido la base de su modo de aplicación en el proyecto. Además, como parte de nuestra aportación a

la comunidad científica se ha ofrecido una definición de *Human Augmentation* de la siguiente manera:

Definición de *Human Augmentation*

*the augmentation of the user from devices with which they are equipped or dressed, to improve the results of tasks by transforming the way they are performed*

Nuestra definición busca volver a dar relevancia a la necesidad de tener dispositivos equipados o “wearable” así como que dichos dispositivos tengan el objetivo de mejorar el resultado de las tareas de los usuarios. A partir de esta nueva definición, se ha ofrecido nuestra clasificación de soluciones en *Human Augmentation* que son *Augmented successfully*, *Augmented Multitasking* y *Augmented perception*. A diferencia de otros investigadores que prefieren clasificar un “dispositivo” o “técnica” esta clasificación busca servir para soluciones completas, como las actuales, donde varias formas de mejorar al usuario funcionan con un solo propósito.

**OBJETIVO. 2. La solución propuesta contempla la nube de computación como una pieza clave en el ciclo de vida del proceso formativo:** la nube de computación sirve como repositorio de experiencias formativas en realidad virtual y mixta. Ante el evento de inicio de ejecución de una experiencia virtual los dispositivos invocan a la nube para conocer el detalle de la experiencia formativa a ejecutar. La nube de computación recibe todos los eventos que ocurren durante una ejecución de una formación en realidad virtual y mixta. La recepción de un evento puede desembocar diversas acciones, algunas de ellas provocan la ejecución de algoritmos en la nube de computación descargando de este procesado a los dispositivos ligeros. La respuesta de estos algoritmos puede provocar una invocación del dispositivo para que reacciones de la forma indicada por el algoritmo, gracias a esto podemos dar un Servicio de Capacitación mediante tecnologías Virtuales a cualquier dispositivo integrado en la nube de computación (CVaaS)

**OBJETIVO. 3. Durante el desarrollo de la tesis se ha diseñado, implementado y verificado un creador de contenidos para realidades extendidas que ofrece una solución**

**completa al cumplimiento de este objetivo.** Para ello se han creado los algoritmos necesarios para, a partir de una información no estructurada que describen las experiencias virtuales, los terminales ligeros son capaces de crear la experiencia virtual completa. Gracias a este enfoque eliminamos completamente la segunda fase del proceso de creación de una experiencia virtual (la programática). Reduciendo el problema a una composición de escenarios y objetos 3D que son parametrizados por usuarios creadores de contenidos que no necesitan tener conocimientos de programación. Además, la solución ofrece un almacén de objetos con una pre-configuración. Este almacén es denominado catálogo y tiene objetos de un alto nivel de abstracción, por ejemplo: un área invisible que ante la presencia del usuario envía el evento de fin de formación con fracaso. Este elemento preconfigurado en el catálogo permite a un creador de contenidos de una forma rápida y sencilla definir un área donde el usuario no debería poder entrar pues sería peligroso para su seguridad, por ejemplo, el área de actuación de un brazo robótico en una industria.

**OBJETIVO. 4. Plataforma robusta:** como primera etapa del proceso se ha realizado un intenso trabajo para determinar las amenazas que pueden afectar de forma más importante a una solución como la nuestra. Sobre estas amenazas detectadas y a partir de las características de nuestro ecosistema tecnológico se han seleccionado, desarrollado y evaluado la combinación de diferentes técnicas. Las seleccionadas son: API-KEY, Web Token, Contenización de los servicios y Desacople de la información. Esta selección ofrece un enfoque innovador en comunicaciones en un ecosistema de dispositivos de *Human Augmentation* y nube de computación.

**OBJETIVO. 5. Realidad virtual y mixta como vehículo para la formación:** como parte de todo el proceso investigación orientado a la creación rápida de experiencias virtuales se ha trabajado en la selección mediante distintas pruebas de concepto de los elementos útiles para procesos formativos. Gracias a las distintas experiencias de formación virtuales hemos podido evaluar las capacidades de cada realidad y los puntos débiles. Actualmente la realidad virtual es una solución más robusta pues sus acciones son más fluidas y los usuarios se

sienten muy cómodos en la ejecución de las formaciones. La realidad virtual es idónea para entrenar al usuario en situaciones peligrosas o con alarmas o eventos descontrolados ya que no hay ningún peligro para el usuario. Así mismo, la formación con realidad virtual tiene una gran utilidad para ayudar a la retención de protocolos o al entrenamiento en reacción rápida en situaciones de alarma. Pues el usuario puede aprender a realizar acciones de manera mecánica, por ejemplo, realizar el control del arnés antes de descender en un espacio confinado. De manera que, cuando acude a su trabajo habitual, estos protocolos serán naturales para el usuario. En lo que ha reacción rápida se refiere, un usuario puede entrenar para que, ante una alarma acústica o grito de emergencia de un compañero, el pulsar el botón de parada de emergencia de la maquinaria sea un instinto y no una acción pensada, pudiendo ganar unas décimas de segundo que pueden resultar claves. La realidad mixta ofrece la gran ventaja de poder llevar la formación al espacio de trabajo del alumno. Sus gestos son más toscos que la realidad virtual, pero poder ofrecer información contextual a las acciones del usuario nos indican que su mejor aplicación será en una etapa posterior a la realidad virtual, donde el objetivo de formación es servir de validador de los contenidos en PRL recibidos. Como refuerzo de este objetivo se han explorado acciones orientadas a la democratización de estas tecnologías como medio para la formación. Por un lado, se añadió a la creación de contenidos en realidad virtual y mixta la capacidad de publicar estos contenidos en la nube de computación para ofrecer estas experiencias a la comunidad. Por otro lado, los dispositivos de realidad virtual y mixta, aprovechando el desarrollo del algoritmo de generación de experiencias virtuales o mixtas a partir de un descriptor de la formación, pueden acceder a las experiencias formativas creadas y publicadas en la nube independientemente del campo de la formación.

**OBJETIVO. 6. Realizar una experiencia piloto en formación de PRL:** la validación de la experimentación es una etapa clave en la investigación pues nos enmarca los siguientes pasos. En nuestra tesis se ha realizado una experiencia piloto para la formación de PRL con más de 287 minutos de formación en 113 experiencias virtuales. De esta experiencia virtual se

ha determinado las siguientes conclusiones:

- El 83,18 % de las experiencias formativas acabaron con éxito. De ellas el 59.29% de las experiencias formativas obtuvieron una nota de perfecto (100% de tareas de PRL resueltas adecuadamente) y un 82,30% de las experiencias virtuales superaron al menos el 75% de las tareas de PRL.
- Solo un 3.53% de las experiencias formativas necesitaron parar la formación por alguna razón.
- La satisfacción de los usuarios fue consultada al final de cada experiencia mediante un sistema de cuestionarios. En el 42.48% de las formaciones los usuarios dieron un 10 a las experiencias virtuales, de igual forma para un 80.53% de las formaciones los usuarios le dieron una nota de 8 o más. En lo que respecta a dificultades de uso de la formación, en el 61.95% de las experiencias formativas los usuarios dieron una nota perfecta a la formación.
- Los análisis de tiempo de aprendizaje arrojan una disminución del tiempo para la segunda iteración de cada lección, resaltando la sencillez de uso.
- En lo que respecta a la sensación de mareo, uno de los principales enemigos de la aplicación de la realidad virtual, la media de la puntuación que evaluaba la sensación de mareo de los usuarios en las experiencias virtuales está comprendida entre un 1.57, en la primera y peor ejecución, hasta un 0.7 en la última ejecución de las experiencias formativas. Ambas notas tienen un rango de 0, la mejor y 10 el peor valor.

La experiencia piloto nos permite concluir la utilidad de estas tecnologías como medio para formar PRL y nos marca un camino de investigación.

Con todos objetivos específicos analizados continuamos con el objetivo general propuesto.

Este es:

### Objetivo General de la tesis

Ofrecer, por medio de las nuevas tecnologías como inteligencia artificial, sistemas inteligentes y descripción de procesos, un modo por el cual podamos reducir el tiempo de desarrollo de una experiencia virtual formativa, eliminando así la barrera actual de aplicación de la tecnología en los sectores de ingeniería, industria y construcción.

Dado que los objetivos específicos 2, 3 y 4 determinan una plataforma para la construcción rápida de experiencias formativas en realidades extendidas. Junto a el objetivo específico 5 ofrece una forma de permitir a los creadores de contenidos publicar experiencias formativas y compartirlas con la comunidad. Y en conjunción con el objetivo 1 que determina un estudio científico exhaustivo de la literatura, así como la aportación realizada y finalizado por la evaluación en laboratorio y experiencias piloto del objetivo 6 podemos concluir que se ha realizado adecuadamente el objetivo general propuesto en esta tesis.

Así mismo, con la consecución de del objetivo general analizamos la hipótesis de partida:

### Hipótesis de partida

Podemos hacer uso de algoritmos, técnicas y métodos de diferentes áreas de las ciencias de la computación que nos permitan crear una solución capaz de romper las barreras económicas que son el principal bloqueo para la aplicación generalizada y universal de la realidad extendida como medio para la formación de profesionales en prevención de riesgos laborales.

Podemos concluir que el plan investigador realizado en esta tesis da como resultado una solución tecnológica que, de forma validada por la experiencia piloto y las pruebas de laboratorio nos permite crear rápidamente experiencias virtuales formativas. Esta creación rápida elimina la principal barrera de aplicación de forma generalizada en la industria, ingeniería y construcción dando así cumplimiento a la hipótesis de que partida.

Con los objetivos cubiertos y la hipótesis aceptada queda dar respuesta a la cuestión que originó el proyecto de investigación. Nuestra cuestión es:

### Cuestión de la tesis doctoral

¿Podemos crear una solución a las grandes barreras para la universalización y la democratización del acceso a la formación en realidades extendidas de manera que este nuevo método para instruir a los profesionales sea la punta de lanza en la lucha contra los accidentes laborales en las próximas décadas?

Con las conclusiones de nuestro trabajo de investigación y a partir de los resultados ofrecidos, la respuesta a esta cuestión es, "SI". El resultado de esta tesis nos ofrece una solución que acelera la creación de experiencias formativas eliminando el principal obstáculo para la su aplicación generalizada ya que: 1º El tiempo necesario ha disminuido drásticamente, 2º los perfiles necesarios para crear una experiencia formativa han sido reducidos a solamente el experto en riesgos laborales.

Los resultados de este plan de investigación han tenido un fin práctico y pragmático en la sociedad pues resuelve un problema que puede afectar a multitud de personas. Así, varias empresas privadas han mostrado su interés en comercializar los avances tecnológicos resultado de este plan de investigación. Esta comercialización se realizará por medio de la Spin-off Open Ingenius.

Actualmente las siguientes empresas han trasladado su apoyo a la investigación con los siguientes acuerdos:

1. **IBM:** por medio de su director de sector industrial en España el Sr Carlos Creus. Su deseo es integrar la CVaaS como un servicio de la nube de computación de IBM para ofrecerlo como un añadido a sus clientes industriales.
2. **Vector Academy:** a través de su director de innovación, estrategia y tecnología el Sr Rafael Conde desean promover contenidos en realidad virtual.
3. **Unified Cloud Services:** el CEO y socio fundador el Sr Mario Monge acuerda la creación de una línea de trabajo para la comercialización de experiencias virtuales formativas.



Todos estos acuerdos están recogidos con cartas de apoyo que pueden verse en el Anexo II Cartas de apoyo.





## CHAPTER 7

## Trabajos futuros

## Resumen del capítulo

*En este capítulo, y como análisis paralelo a las conclusiones del plan de investigación, ofrecemos un conjunto de nuevos campos de estudio científicos para continuar en esta área de investigación. Las nuevas líneas de trabajo son:*

- 1. Comportamientos de gran realismo*
- 2. Capacidad de interacción en realidad mixta*
- 3. Análisis de comportamiento del usuario en tiempo real*
- 4. Análisis de los datos de uso para conocer riesgos en PRL*
- 5. Autodetección de situaciones de riesgo en la ejecución de las tareas a partir del comportamiento de los usuarios*
- 6. Simplificación del proceso de creación de experiencias virtuales*
- 7. Incluir otros dispositivos de Human Augmentation*

*Además, se presentan nuevos campos de aplicación de los resultados de nuestra tesis. Estos campos son:*

- 1. Diversificación de contenidos*
- 2. Aplicación a formación general*
- 3. Experiencia piloto de realidad mixta*

## 7.1 Líneas de investigación futuras

Si bien los objetivos de esta tesis han sido cubiertos como se ha concluido en el capítulo anterior, nuestro trabajo no está carente de líneas de investigación futuras que nos marcan la dirección de nuevos trabajos tanto de nuestro equipo de investigación como de cualquier otro investigador que desee adentrarse en este área de investigación.

Las principales líneas de investigación futuras detectadas son:

1. **Comportamientos de gran realismo:** el nivel de realismo de las experiencias formativas juega un papel muy determinante en el nivel de adherencia de los conocimientos. El parecido visual ha sido la primera barrera a superar, bien con el uso de realidad virtual o mixta las experiencias formativas poseen un nivel de realismo suficiente para trasladar la intención de las acciones. Ahora es el momento de dotar de mayor realismo al comportamiento de los elementos en las experiencias virtuales, para ello es necesario ofrecer elementos no deterministas, elementos dotados de inteligencia artificial que puedan comprender las acciones del usuario e interactuar con él. La composición de elementos no deterministas junto a la posibilidad de incluir eventos aleatorios (una rotura o una alarma) junto a comportamientos inteligentes, por ejemplo, avatares de simulación de compañeros que responden de forma natural a una emergencia, darían como resultado una experiencia formativa mucho más rica.
2. **Capacidad de interacción en realidad mixta:** con respecto a la realidad virtual, la realidad mixta posee algunas carencias en cuanto a la velocidad de respuesta de los gestos y la interpretación que el sistema hace de ellos. Algunas veces las acciones se ven torpes o la detección de los gestos no es tan reactiva como debería. Para paliar este efecto se puede utilizar distintos enfoques. Uno de ellos podría ser diseñar e implementar a bajo nivel mejores algoritmos de detección de los gestos mediante técnicas de interacción natural y visión por computador, otra posible solución podría ser utilizar heurísticas

para suponer la aparición de un evento de interacción antes que este ocurra, es decir, si detectamos que la mano se acerca al holograma, y lo natural sería que el usuario quiera realizar una acción de “coger”, procesar esta acción, aunque no se detecte el movimiento. Otra posible solución sería la de utilizar elementos de detección de las manos, como los que utilizamos en realidad virtual. Si bien esta podría ser la solución más rápida también tiene el inconveniente de romper con la experiencia “real” al necesitar un dispositivo para interactuar con los elementos digitales y no utilizarlo para interactuar con los reales.

3. **Análisis de comportamiento del usuario en tiempo real:** alineado con el reto de buscar experiencias de gran realismo, sería necesario explorar algoritmos de detección de comportamientos en la nube de computación para reconocer determinados comportamientos a los usuarios. Con esto se podría añadir a las experiencias virtuales acciones de supervisión del proceso formativo como si de un instructor se tratara. Un ejemplo sencillo podría ser la detección por parte de la nube de un error repetido por parte de un usuario. Ante esta situación el sistema podría lanzar una locución con ayuda de un instructor o, en una solución más avanzada, arrancar una IA diseñada para guiar al usuario en la ejecución de la formación mediante el análisis detallado de los eventos del usuario en tiempo real.
4. **Análisis de los datos de uso para conocer riesgos en PRL:** la formación en realidad extendida de los usuarios ofrece una ingente cantidad de datos a analizar los cuales describen cómo los usuarios se enfrentan a las acciones de formación. Estos datos pueden ser usados para muchos objetivos, algunos podrían ser:
  - (a) Comportamiento en realidades extendidas: de manera que podamos conocer qué acciones, en la formación, son problemáticas para los usuarios. Ofreciendo soluciones para estas acciones, y evaluando el grado de mejora de las soluciones
  - (b) Comportamiento en formación: de un análisis podría extraerse qué materias o ac-

ciones de los usuarios no están claras o necesitan refuerzo. Pudiendo ayudar a las entidades a crear planes formativos más adecuados.

(c) Mejora de los elementos del sistema: conocer cómo interactúan los usuarios también nos da información sobre qué elementos no están funcionando como deberían. Esto podría ocurrir por un fallo en el programa o por una explicación errónea del elemento. Sea como fuere, nos ayudará a mejorar la calidad de la formación.

(d) Mejorar el uso de las maquinarias: de la propia formación de los usuarios encontramos datos cómo el usuario utiliza una maquinaria o dispositivo y se podría inferir información del modo de empleo de la misma. Así, una entidad podría conocer, por ejemplo, si el modo de empleo de una maquinaria está generando ineficiencias, como conocer si los técnicos necesitan todas las herramientas que están a su alcance o hay errores o puntos de mejora en los protocolos de producción de una fábrica.

#### **5. Autodetección de situaciones de riesgo en la ejecución de las tareas a partir del comportamiento de los usuarios en las formaciones de PRL en realidad mixta:**

Derivado del análisis de los eventos de los usuarios, la información que podríamos inferir no tiene valor solo para formación. Estos datos podrían contener modelos que nos ayuden a predecir en tiempo real accidentes en el puesto de trabajo. De esta manera, algoritmos de ciencias de datos podrían obtener modelos de predicción para posteriormente implantarlos en gafas de realidad mixta. Los operarios podrían utilizarlas durante la ejecución de sus tareas. Estas gafas procesarán todas las acciones del usuario, como si de una formación se tratara, en este caso los eventos alimentarían el modelo el cual podría prever situaciones de riesgo o accidentes.

#### **6. Simplificación del proceso de creación de experiencias virtuales:** ya hemos expuesto que la literatura científica ofrece este punto como un reto clave en la implantación

de estas tecnologías como soluciones universales (Raisamo et al., 2019) (Delgado et al., 2020). Por tanto, este proceso nunca puede considerarse resuelto. El proceso de creación de experiencias es un claro candidato a recibir otras investigaciones por ejemplo el uso de elementos de escaneado 3D de espacios u objetos para dotarlos de mayor realidad, o la aplicación de algoritmos de visualización de grafos para una creación asistidas de eventos y comportamientos de objetos.

7. **Incluir otros dispositivos de *Human Augmentation***: es habitual la aparición de nuevos dispositivos que ayudan al usuario en la ejecución de sus tareas. Incluir nuevos dispositivos dentro del conjunto de elementos disponibles para la creación de experiencias formativas podría ayudar a los usuarios en sus procesos formativos. Por ejemplo, un sistema de simulación del tacto o del peso de una herramienta añadiría más realismo que redundaría en una mejora de la calidad de la formación.

Todas estas líneas de investigación corresponden al campo tecnológico, pero existen otras líneas de estudio futuras en el trabajo actual que podrían ayudar a mejorar la aplicación universal de la *Human Augmentation* como elemento formativo. Estas son:

1. **Diversificación de contenidos**: nuestras experiencias formativas se han centrado en la búsqueda de una herramienta para la mejora de PRL, pero existen multitud de situaciones para las cuales sería deseable crear experiencias formativas donde el usuario fuera parte de una situación peligrosa, pero con la tranquilidad de no exponerse nunca a ningún riesgo.
2. **Aplicación a formación general**: sin necesidad de orientar la formación hacia una situación de riesgo multitud de procesos formativos a todos los niveles pueden verse beneficiados de las realidades extendidas. Gracias a la aplicación de una solución como la aquí expuesta podrían crearse soluciones muy rápidas y que estuvieran disponibles en dispositivos comerciales de bajo coste.



3. **Experiencia piloto de realidad mixta:** para conocer el estado del arte actual y su aplicación sería necesario realizar una experiencia piloto de formaciones en PRL en realidad mixta. Además, sería bueno comparar la opinión de los alumnos entre el proceso formativo en realidad mixta con la formación en realidad virtual. Las características a comparar serían: idoneidad para la formación, capacidad de ser un vehículo de conocimiento y esfuerzo de los usuarios para realizar la formación.



## CHAPTER 8

---

### Bibliografía

---

#### Resumen del capítulo

*En este capítulo listamos las citas bibliográficas presentadas en este documento de tesis.*

- Rice, S.L., Field M.P., and O'Brien R.C. (1975). "HYBRID URBAN VEHICLE." In: *American Society of Mechanical Engineers*.
- Doherty, W. J. and W. G. Pope (1986). "Computing as a tool for human augmentation". In: *IBM Systems Journal* 25.3.4, pp. 306–320. DOI: [10.1147/sj.253.0306](https://doi.org/10.1147/sj.253.0306).
- Gigante, Michael A. (1993). "Virtual Reality: Definitions, History and Applications". In: *Virtual Reality Systems*. Elsevier, pp. 3–14. DOI: [10.1016/b978-0-12-227748-1.50009-3](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-227748-1.50009-3).
- Milgram, Paul and Fumio Kishino (1994). "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays". In: *IEICE Trans. Information Systems* 12, pp. 1321–1329.
- Frier, A., P. Karlton, and P. Kocher (1996). "The SSL 3.0 Protocol." In: *Netscape Communications Corporation*.
- Gardner, S. et al. (Aug. 1996). "Virtual Communications Environment (VCE) - Remote management and control of space systems". In: *Space Programs and Technologies Conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. DOI: [10.2514/6.1996-4407](https://doi.org/10.2514/6.1996-4407).
- Kazerooni, H. (Dec. 1996). "The human power amplifier technology at the University of California, Berkeley". In: *Robotics and Autonomous Systems* 19.2, pp. 179–187. DOI: [10.1016/S0921-8890\(96\)00045-0](https://doi.org/10.1016/S0921-8890(96)00045-0).
- Misener, James A., Raja Sengupta, and Datta N. Godbole (June 1997). "Preliminary study of the application of synthetic vision for obstacle avoidance on highways". In: *Enhanced and Synthetic Vision 1997*. Ed. by Jacques G. Verly. SPIE. DOI: [10.1117/12.277238](https://doi.org/10.1117/12.277238).
- Diplas, Costas N. and Panayotis E. Pintelas (2000). "Design of Interactivity in Virtual Reality Applications with Emphasis on Educational Software Using Formal Interaction Specification". In: *Education and Information Technologies* 5.4, pp. 291–304. DOI: [10.1023/a:1012053507785](https://doi.org/10.1023/a:1012053507785).
- Ivanisevic, I. and V. Lumelsky (2000). "Human augmentation in teleoperation of arm manipulators in an environment with obstacles". In: *Proceedings 2000 ICRA. Millennium Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No.00CH37065)*. IEEE. DOI: [10.1109/robot.2000.844887](https://doi.org/10.1109/robot.2000.844887).

- Kaufmann, Hannes, Dieter Schmalstieg, and Michael Wagner (2000). "Construct3D: A Virtual Reality Application for Mathematics and Geometry Education". In: *Education and Information Technologies* 5.4, pp. 263–276. DOI: [10.1023/a:1012049406877](https://doi.org/10.1023/a:1012049406877).
- Smith, David and Janice Coyle (May 2000). "Fly's Eye View: Introducing Young Children to Digital Art through Virtual Reality". In: *Journal of Art & Design Education* 19.2, pp. 200–207. DOI: [10.1111/1468-5949.00219](https://doi.org/10.1111/1468-5949.00219).
- Sulbaran, T. and N.C. Baker (2000). "Enhancing engineering education through distributed virtual reality". In: *30th Annual Frontiers in Education Conference. Building on A Century of Progress in Engineering Education. Conference Proceedings (IEEE Cat. No.00CH37135)*. Stripes Publishing. DOI: [10.1109/fie.2000.896621](https://doi.org/10.1109/fie.2000.896621).
- Tsumugiwa, Toru, Ryuichi YOKOGAWA, and Kei HARA (2002). "VARIABLE IMPEDANCE CONTROL BASED ON ESTIMATION OF HUMAN ARM STIFFNESS FOR HUMAN-ROBOT COOPERATIVE TASK : Human-Robot Cooperative Calligraphic Task". In: *The Proceedings of the International Conference on Motion and Vibration Control* 6.1.0, pp. 403–409. DOI: [10.1299/jsmeintmovic.6.1.403](https://doi.org/10.1299/jsmeintmovic.6.1.403).
- Kazerooni, H. et al. (2004). "The magic glove". In: *IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA '04. 2004*. IEEE. DOI: [10.1109/robot.2004.1307240](https://doi.org/10.1109/robot.2004.1307240).
- Ghan, Justin, Ryan Steger, and H. Kazerooni (2005). "Control and system identification for the Berkeley lowerextremity exoskeleton (BLEEX)". In: *Advanced Robotics, Vol. 20, No. 9, pp. 989–1014 (2006)*.
- Zoss, Adam and H. Kazerooni (Jan. 2005). "Architecture and Hydraulics of a Lower Extremity Exoskeleton". In: *Dynamic Systems and Control, Parts A and B*. ASMEDC. DOI: [10.1115/imece2005-80129](https://doi.org/10.1115/imece2005-80129).

- Vaughn, J.R and Chairperson (2006). *Over the Horizon: Potential Impact of Emerging Trends in Information and Communication Technology on Disability Policy and Practice*. Ed. by National Council on Disability. National Council on Disability.
- Akin, David L., Shane Jacobs, and David Gruntz (July 2007). "Investigations into Several Approaches to EVA-Robot Integration". In: *SAE Technical Paper Series*. SAE International. DOI: [10.4271/2007-01-3232](https://doi.org/10.4271/2007-01-3232).
- Christian, Johannes et al. (2007). "Virtual and Mixed Reality Interfaces for e-Training: Examples of Applications in Light Aircraft Maintenance". In: *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 520–529. DOI: [10.1007/978-3-540-73283-9\\_58](https://doi.org/10.1007/978-3-540-73283-9_58).
- KAZEROONI, H. (Sept. 2007). "HUMAN AUGMENTATION AND EXOSKELETON SYSTEMS IN BERKELEY". In: *International Journal of Humanoid Robotics* 04.03, pp. 575–605. DOI: [10.1142/s0219843607001187](https://doi.org/10.1142/s0219843607001187).
- Bostrom. N, Rebecca Roache (2008). "Ethical Issues in Human Enhancement". In: *New Waves in Applied Ethics*, pp. 120–152.
- Dieker, Lisa et al. (Feb. 2008). "Implications of Mixed Reality and Simulation Technologies on Special Education and Teacher Preparation". In: *Focus on Exceptional Children* 40.6. DOI: [10.17161/foec.v40i6.6877](https://doi.org/10.17161/foec.v40i6.6877).
- Duchaine, Vincent and Clement M. Gosselin (May 2008). "Investigation of human-robot interaction stability using Lyapunov theory". In: *2008 IEEE International Conference on Robotics and Automation*. IEEE. DOI: [10.1109/robot.2008.4543531](https://doi.org/10.1109/robot.2008.4543531).
- Garcia, Tamara and Ronald Sandler (Nov. 2008). "Enhancing Justice?" In: *NanoEthics* 2.3, pp. 277–287. DOI: [10.1007/s11569-008-0048-5](https://doi.org/10.1007/s11569-008-0048-5).
- Hew, Khe Foon and Wing Sum Cheung (Oct. 2008). "Use of three-dimensional (3-D) immersive virtual worlds in K-12 and higher education settings: A review of the research". In: *British Journal of Educational Technology* 41.1, pp. 33–55. DOI: [10.1111/j.1467-8535.2008.00900.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00900.x).

- Kazerooni, H. (Jan. 2008). "A Review of the Exoskeleton and Human Augmentation Technology". In: *ASME 2008 Dynamic Systems and Control Conference, Parts A and B*. ASMEDC. DOI: [10.1115/dscc2008-2407](https://doi.org/10.1115/dscc2008-2407).
- Farrell, Stephen (Sept. 2009). "API Keys to the Kingdom". In: *IEEE Internet Computing* 13.5, pp. 91–93. DOI: [10.1109/mic.2009.100](https://doi.org/10.1109/mic.2009.100).
- Kim, Hyun-Woo et al. (Oct. 2010). "Smart wearable robot glasses for human visual augmentation based on human intention and scene understanding". In: *2010 International Symposium on Optomechatronic Technologies*. IEEE. DOI: [10.1109/isot.2010.5687362](https://doi.org/10.1109/isot.2010.5687362).
- Lee, Elinda Ai-Lim, Kok Wai Wong, and Chun Che Fung (Dec. 2010). "How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modeling approach". In: *Computers & Education* 55.4, pp. 1424–1442. DOI: [10.1016/j.compedu.2010.06.006](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.06.006).
- Subashini, S. and V. Kavitha (Jan. 2011). "A survey on security issues in service delivery models of cloud computing". In: *Journal of Network and Computer Applications* 34.1, pp. 1–11. DOI: [10.1016/j.jnca.2010.07.006](https://doi.org/10.1016/j.jnca.2010.07.006).
- Llorens, Baldin et al. (Oct. 2012). "Demonstration-based control of supernumerary robotic limbs". In: *2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*. IEEE. DOI: [10.1109/iros.2012.6386055](https://doi.org/10.1109/iros.2012.6386055).
- Ste-Croix, Chris et al. (Sept. 2012). "Experimental Evaluation of the Dermoskeleton Concept: Addressing the Soldiers Overload Challenge". In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 56.1, pp. 2393–2396. DOI: [10.1177/1071181312561516](https://doi.org/10.1177/1071181312561516).
- McCullagh, Paul et al. (July 2013). "Ethical Challenges Associated with the Development and Deployment of Brain Computer Interface Technology". In: *Neuroethics* 7.2, pp. 109–122. DOI: [10.1007/s12152-013-9188-6](https://doi.org/10.1007/s12152-013-9188-6).
- Meir, Anat, Yisrael Parmet, and Tal Oron-Gilad (Sept. 2013). "Towards understanding child-pedestrians' hazard perception abilities in a mixed reality dynamic environment". In: *Trans-*

- portation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 20, pp. 90–107. DOI: [10.1016/j.trf.2013.05.004](https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.05.004).
- Tachi, Susumu (Dec. 2013). “From 3D to VR and further to telexistence”. In: *2013 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT)*. IEEE. DOI: [10.1109/icat.2013.6728898](https://doi.org/10.1109/icat.2013.6728898).
- Civelek, Turhan et al. (Dec. 2014). “Effects of a Haptic Augmented Simulation on K-12 Students’ Achievement and their Attitudes towards Physics”. In: *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education* 10.6. DOI: [10.12973/eurasia.2014.1122a](https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1122a).
- Takala, Jukka et al. (Apr. 2014). “Global Estimates of the Burden of Injury and Illness at Work in 2012”. In: *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 11.5, pp. 326–337. DOI: [10.1080/15459624.2013.863131](https://doi.org/10.1080/15459624.2013.863131).
- Wang, Xiangyu (Mar. 2014). “Editorial visualization in engineering”. In: *Visualization in Engineering* 2.1. DOI: [10.1186/2213-7459-2-1](https://doi.org/10.1186/2213-7459-2-1).
- Bautista, Nazan Uludag and William J. Boone (Mar. 2015). “Exploring the Impact of TeachME™ Lab Virtual Classroom Teaching Simulation on Early Childhood Education Majors’ Self-Efficacy Beliefs”. In: *Journal of Science Teacher Education* 26.3, pp. 237–262. DOI: [10.1007/s10972-014-9418-8](https://doi.org/10.1007/s10972-014-9418-8).
- Huang, Rui et al. (Sept. 2015). “Interactive learning for sensitivity factors of a human-powered augmentation lower exoskeleton”. In: *2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. IEEE. DOI: [10.1109/iros.2015.7354293](https://doi.org/10.1109/iros.2015.7354293).
- Wentzel, Johann et al. (Oct. 2015). “Shared Presence and Collaboration Using a Co-Located Humanoid Robot”. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Human-Agent Interaction*. ACM. DOI: [10.1145/2814940.2814995](https://doi.org/10.1145/2814940.2814995).
- Johnson, L et al. (2016). “NMC Horizon Report: 2016 Higher Education Edition”. In: *The New Media Consortium. Retrieved*. Austin, Texas.



- Lindgren, Robb et al. (Apr. 2016). “Enhancing learning and engagement through embodied interaction within a mixed reality simulation”. In: *Computers & Education* 95, pp. 174–187. DOI: [10.1016/j.compedu.2016.01.001](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.001).
- Shluzas, Lauren Aquino, Gabriel Aldaz, and Larry Leifer (2016). “Design Thinking Health: Telepresence for Remote Teams with Mobile Augmented Reality”. In: *Understanding Innovation*. Springer International Publishing, pp. 53–66. DOI: [10.1007/978-3-319-19641-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-19641-1_5).
- Wang, H. et al. (2016). “Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980–2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015”. In: *Lancet* 388.10053, pp. 1459–1544.
- Bright, Zack and H. Harry Asada (July 2017). “Supernumerary Robotic Limbs for Human Augmentation in Overhead Assembly Tasks”. In: *Robotics: Science and Systems XIII*. Robotics: Science and Systems Foundation. DOI: [10.15607/rss.2017.xiii.062](https://doi.org/10.15607/rss.2017.xiii.062).
- Brun, Damien, Charles Guin-Vallerand, and Sébastien George (Sept. 2017). “Augmented human mind”. In: *Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*. ACM. DOI: [10.1145/3123024.3129273](https://doi.org/10.1145/3123024.3129273).
- Fonnet, Adrien et al. (Oct. 2017). “Heritage BIM integration with mixed reality for building preventive maintenance”. In: *2017 24º Encontro Português de Computação Gráfica e Interação (EPCGI)*. IEEE. DOI: [10.1109/epcgi.2017.8124304](https://doi.org/10.1109/epcgi.2017.8124304).
- Greenwald, S et al. (2017). “Technology and applications for collaborative learning in virtual reality”. In: *Paper presented at Making a Difference: Prioritizing Equity and Access in CSCL, 12th International Conference on Computer Supported Collaborative Learning (CSCL)*.
- Hämäläinen, Päivi, Jukka Takala, and Tan Boon Kiat (2017). “Global Estimates of Occupational Accidents and Work-related Illnesses 2017”. In: *World Congress on Safety and Health at Work 2017, 3-4 September 2017 Singapore*.

- Hu, Yuhan, Sang-won Leigh, and Pattie Maes (Oct. 2017). “Hand Development Kit”. In: *Adjunct Publication of the 30th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. ACM. DOI: [10.1145/3131785.3131805](https://doi.org/10.1145/3131785.3131805).
- Niforatos, Evangelos, Athanasios Vourvopoulos, and Marc Langheinrich (Sept. 2017). “Amplifying human cognition”. In: *Proceedings of the 2017 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*. ACM. DOI: [10.1145/3123024.3129266](https://doi.org/10.1145/3123024.3129266).
- Tepper, Oren M. et al. (Nov. 2017). “Mixed Reality with HoloLens”. In: *Plastic and Reconstructive Surgery* 140.5, pp. 1066–1070. DOI: [10.1097/prs.0000000000003802](https://doi.org/10.1097/prs.0000000000003802).
- Treers, Laura et al. (2017). “Design and Control of Lightweight Supernumerary Robotic Limbs for Sitting/Standing Assistance”. In: *Springer Proceedings in Advanced Robotics*. Springer International Publishing, pp. 299–308. DOI: [10.1007/978-3-319-50115-4\\_27](https://doi.org/10.1007/978-3-319-50115-4_27).
- Eschen, Henrik et al. (2018). “Augmented and Virtual Reality for Inspection and Maintenance Processes in the Aviation Industry”. In: *Procedia Manufacturing* 19, pp. 156–163. DOI: [10.1016/j.promfg.2018.01.022](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.022).
- Gonzalez, Daniel J. and H. Harry Asada (Oct. 2018). “Design of Extra Robotic Legs for Augmenting Human Payload Capabilities by Exploiting Singularity and Torque Redistribution”. In: *2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. IEEE. DOI: [10.1109/iros.2018.8593506](https://doi.org/10.1109/iros.2018.8593506).
- Kang, Inseung, Hsiang Hsu, and Aaron J. Young (Sept. 2018). “Design and Validation of a Torque Controllable Hip Exoskeleton for Walking Assistance”. In: *Volume 1: Advances in Control Design Methods Advances in Nonlinear Control Advances in Robotics Assistive and Rehabilitation Robotics Automotive Dynamics and Emerging Powertrain Technologies Automotive Systems Bio Engineering Applications Bio-Mechatronics and Physical Human Robot Interaction Biomedical and Neural Systems Biomedical and Neural Systems Mod-*

- eling, Diagnostics, and Healthcare*. American Society of Mechanical Engineers. DOI: [10.1115/dscc2018-9198](https://doi.org/10.1115/dscc2018-9198).
- Otten, Bernward M., Robert Weidner, and Andreas Argubi-Wollesen (July 2018). "Evaluation of a Novel Active Exoskeleton for Tasks at or Above Head Level". In: *IEEE Robotics and Automation Letters* 3.3, pp. 2408–2415. DOI: [10.1109/lra.2018.2812905](https://doi.org/10.1109/lra.2018.2812905).
- Penaloza, Christian, David Hernandez-Carmona, and Shuichi Nishio (Oct. 2018). "Towards Intelligent Brain-Controlled Body Augmentation Robotic Limbs". In: *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. IEEE. DOI: [10.1109/smc.2018.00180](https://doi.org/10.1109/smc.2018.00180).
- Perez, Carlos Navarro et al. (2018). "A Conceptual Exoskeleton Shoulder Design for the Assistance of Upper Limb Movement". In: *Towards Autonomous Robotic Systems*. Springer International Publishing, pp. 291–302. DOI: [10.1007/978-3-319-96728-8\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96728-8_25).
- Piro, Jody S. and Catherine O'Callaghan (Oct. 2018). "Journeying Towards the Profession: Exploring Liminal Learning within Mixed Reality Simulations". In: *Action in Teacher Education* 41.1, pp. 79–95. DOI: [10.1080/01626620.2018.1534221](https://doi.org/10.1080/01626620.2018.1534221).
- Weng, Cathy et al. (Mar. 2018). "Mixed Reality in Science Education as a Learning Support: A Revitalized Science Book". In: *Journal of Educational Computing Research* 57.3, pp. 777–807. DOI: [10.1177/0735633118757017](https://doi.org/10.1177/0735633118757017).
- Bin, Feng et al. (Aug. 2019). "Construction safety education system based on virtual reality". In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 563, p. 042011. DOI: [10.1088/1757-899x/563/4/042011](https://doi.org/10.1088/1757-899x/563/4/042011).
- Bouali, Nacir et al. (Nov. 2019). "Imikode". In: *Proceedings of the 19th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*. ACM. DOI: [10.1145/3364510.3366149](https://doi.org/10.1145/3364510.3366149).
- Bougrinat, Yacine, Sofiane Achiche, and Maxime Raison (Dec. 2019). "Design and development of a lightweight ankle exoskeleton for human walking augmentation". In: *Mechatronics* 64, p. 102297. DOI: [10.1016/j.mechatronics.2019.102297](https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2019.102297).

- Braun, David J. et al. (Dec. 2019). "Variable Stiffness Spring Actuators for Low-Energy-Cost Human Augmentation". In: *IEEE Transactions on Robotics* 35.6, pp. 1435–1449. DOI: [10.1109/tro.2019.2929686](https://doi.org/10.1109/tro.2019.2929686).
- Kaluza, Alexander et al. (2019). "Implementing mixed reality in automotive life cycle engineering: A visual analytics based approach". In: *Procedia CIRP* 80, pp. 717–722. DOI: [10.1016/j.procir.2019.01.078](https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.078).
- Kardong-Edgren, Suzan (Suzie) et al. (June 2019). "A Call to Unify Definitions of Virtual Reality". In: *Clinical Simulation in Nursing* 31, pp. 28–34. DOI: [10.1016/j.ecns.2019.02.006](https://doi.org/10.1016/j.ecns.2019.02.006).
- Lang, Sebastian et al. (2019). "Mixed reality in production and logistics: Discussing the application potentials of Microsoft HoloLens™". In: *Procedia Computer Science* 149, pp. 118–129. DOI: [10.1016/j.procs.2019.01.115](https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.115).
- Lombardo, Juan Manuel et al. (2019a). "MOBEEZE. Natural Interaction Technologies, Virtual Reality and Artificial Intelligence for Gait Disorders Analysis and Rehabilitation in Patients with Parkinson's Disease". In: *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence* 5.6, p. 54. DOI: [10.9781/ijimai.2019.07.003](https://doi.org/10.9781/ijimai.2019.07.003).
- Lombardo, Juan Manuel et al. (2019b). "PRACTICA. A Virtual Reality Platform for Specialized Training Oriented to Improve the Productivity". In: *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence* 5.4, p. 94. DOI: [10.9781/ijimai.2018.04.007](https://doi.org/10.9781/ijimai.2018.04.007).
- Motejlek, J. and E. Alpay (2019). "A Taxonomy for Virtual and Augmented Reality in Education". In:
- Pace, Francesco De et al. (Mar. 2019). "A Comparison Between Two Different Approaches for a Collaborative Mixed-Virtual Environment in Industrial Maintenance". In: *Frontiers in Robotics and AI* 6. DOI: [10.3389/frobt.2019.00018](https://doi.org/10.3389/frobt.2019.00018).
- Quigley, Fiona et al. (Sept. 2019). "A Virtual Reality Training Tool to Improve Weight-Related Communication Across Healthcare Settings". In: *Proceedings of the 31st European Conference on Cognitive Ergonomics*. ACM. DOI: [10.1145/3335082.3335121](https://doi.org/10.1145/3335082.3335121).

- Raisamo, Roope et al. (Nov. 2019). "Human augmentation: Past, present and future". In: *International Journal of Human-Computer Studies* 131, pp. 131–143. DOI: [10.1016/j.ijhcs.2019.05.008](https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.05.008).
- Simões, Bruno et al. (June 2019). "Cross reality to enhance worker cognition in industrial assembly operations". In: *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 105.9, pp. 3965–3978. DOI: [10.1007/s00170-019-03939-0](https://doi.org/10.1007/s00170-019-03939-0).
- Speicher, Maximilian, Brian D. Hall, and Michael Nebeling (May 2019). "What is Mixed Reality?" In: *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM. DOI: [10.1145/3290605.3300767](https://doi.org/10.1145/3290605.3300767).
- Stojanovska, M. et al. (Nov. 2019). "Mixed Reality Anatomy Using Microsoft HoloLens and Cadaveric Dissection: A Comparative Effectiveness Study". In: *Medical Science Educator* 30.1, pp. 173–178. DOI: [10.1007/s40670-019-00834-x](https://doi.org/10.1007/s40670-019-00834-x).
- Valeriani, Davide, Caterina Cinel, and Riccardo Poli (Jan. 2019). "Brain–Computer Interfaces for Human Augmentation". In: *Brain Sciences* 9.2, p. 22. DOI: [10.3390/brainsci9020022](https://doi.org/10.3390/brainsci9020022).
- An, Mi Young, Kyung A Ko, and Eun Ju Kang (2020). "Problems and Directions of Development through Analysis of Virtual Reality-Based Education in Korea". In: *International Journal of Information and Education Technology* 10.8, pp. 552–556. DOI: [10.18178/ijiet.2020.10.8.1423](https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.8.1423).
- Bejczy, Bence et al. (2020). "Mixed Reality Interface for Improving Mobile Manipulator Teleoperation in Contamination Critical Applications". In: *Procedia Manufacturing* 51, pp. 620–626. DOI: [10.1016/j.promfg.2020.10.087](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.087).
- Czarski, Marvin et al. (2020). "A Mixed Reality application for studying the improvement of HVAC systems in learning factories". In: *Procedia Manufacturing* 45, pp. 373–378. DOI: [10.1016/j.promfg.2020.04.039](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.039).

- Delgado, Juan Manuel Davila et al. (Aug. 2020). "A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction". In: *Advanced Engineering Informatics* 45, p. 101122. DOI: [10.1016/j.aei.2020.101122](https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101122).
- Du, Yi-Chun, Shih-Chen Fan, and Li-Cheng Yang (Oct. 2020). "The impact of multi-person virtual reality competitive learning on anatomy education: a randomized controlled study". In: *BMC Medical Education* 20.1. DOI: [10.1186/s12909-020-02155-9](https://doi.org/10.1186/s12909-020-02155-9).
- Gerez, Lucas et al. (2020). "A Hybrid, Wearable Exoskeleton Glove Equipped With Variable Stiffness Joints, Abduction Capabilities, and a Telescopic Thumb". In: *IEEE Access* 8, pp. 173345–173358. DOI: [10.1109/access.2020.3025273](https://doi.org/10.1109/access.2020.3025273).
- Al-Gindy, Ahmed et al. (2020). "Virtual Reality: Development of an Integrated Learning Environment for Education". In: *International Journal of Information and Education Technology* 10.3, pp. 171–175. DOI: [10.18178/ijiet.2020.10.3.1358](https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.3.1358).
- H., Rahmalan (Aug. 2020). "Development of Virtual Reality Training for Fire Safety Education". In: *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering* 9.4, pp. 5906–5912. DOI: [10.30534/ijatcse/2020/253942020](https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/253942020).
- Kounlaxay, Kalaphath and Soo Kyun Kim (2020). "Design of Learning Media in Mixed Reality for Lao Education". In: *Computers, Materials & Continua* 64.1, pp. 161–180. DOI: [10.32604/cmc.2020.09930](https://doi.org/10.32604/cmc.2020.09930).
- Li, Mei et al. (Oct. 2020). "A Virtual Reality Platform for Safety Training in Coal Mines with AI and Cloud Computing". In: *Discrete Dynamics in Nature and Society* 2020. Ed. by Chi-Hua Chen, pp. 1–7. DOI: [10.1155/2020/6243085](https://doi.org/10.1155/2020/6243085).
- Oyelere, Solomon Sunday et al. (Oct. 2020). "Exploring the trends of educational virtual reality games: a systematic review of empirical studies". In: *Smart Learning Environments* 7.1. DOI: [10.1186/s40561-020-00142-7](https://doi.org/10.1186/s40561-020-00142-7).
- Pietrafesa, Emma et al. (June 2020). "Occupational safety and health education and training: an innovative format and experience". In: *6th International Conference on Higher Education*

- Advances (HEAD'20)*. Universitat Politècnica de València. DOI: [10.4995/head20.2020.11051](https://doi.org/10.4995/head20.2020.11051).
- Pitana, T, H Prastowo, and A P Mahdali (Sept. 2020). "The Development of Fire Safety Appliances Inspection Training using Virtual Reality (VR) Technology". In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 557, p. 012064. DOI: [10.1088/1755-1315/557/1/012064](https://doi.org/10.1088/1755-1315/557/1/012064).
- Porter, C. D. et al. (Sept. 2020). "Using virtual reality in electrostatics instruction: The impact of training". In: *Physical Review Physics Education Research* 16.2. DOI: [10.1103/physrevphyseducres.16.020119](https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.16.020119).
- Rokhsaritalemi, Somaieh, Abolghasem Sadeghi-Niaraki, and Soo-Mi Choi (Jan. 2020). "A Review on Mixed Reality: Current Trends, Challenges and Prospects". In: *Applied Sciences* 10.2, p. 636. DOI: [10.3390/app10020636](https://doi.org/10.3390/app10020636).
- Sorko, Sabrina Romina, Christian Trattner, and Joachim Komar (2020). "Implementing AR/MR – Learning factories as protected learning space to rise the acceptance for Mixed and Augmented Reality devices in production". In: *Procedia Manufacturing* 45, pp. 367–372. DOI: [10.1016/j.promfg.2020.04.037](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.037).
- Wan, Jing et al. (Apr. 2020). "Oil Depot Safety Inspection and Emergency Training System Based on Virtual Reality Technology". In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 782, p. 042018. DOI: [10.1088/1757-899x/782/4/042018](https://doi.org/10.1088/1757-899x/782/4/042018).
- Zhang, Renjie et al. (2020). "Collaborative robot and mixed reality assisted microgravity assembly for large space mechanism". In: *Procedia Manufacturing* 51, pp. 38–45. DOI: [10.1016/j.promfg.2020.10.007](https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.007).
- Joshi, Sayali et al. (Jan. 2021). "Implementing Virtual Reality technology for safety training in the precast/ prestressed concrete industry". In: *Applied Ergonomics* 90, p. 103286. DOI: [10.1016/j.apergo.2020.103286](https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103286).

- Kurschl, Werner et al. (2021). "Using Mixed Reality in Intralogistics - Are we ready yet?" In: *Procedia Computer Science* 180, pp. 132–141. DOI: [10.1016/j.procs.2021.01.136](https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.136).
- Li, Zicong (2021). "Ethical Problems Concerning Human Augmentation Technology and Its Future Aspects". In: *Proceedings of the 7th International Conference on Humanities and Social Science Research (ICHSSR 2021)*. Atlantis Press. DOI: [10.2991/assehr.k.210519.229](https://doi.org/10.2991/assehr.k.210519.229).
- Rojo, Ana, Laura Raya, and Alberto Sanchez (Mar. 2021). "A Novel Mixed Reality Solution Based on Learning Environment for Sutures in Minor Surgery". In: *Applied Sciences* 11.5, p. 2335. DOI: [10.3390/app11052335](https://doi.org/10.3390/app11052335).
- Siyayev, Aziz and Geun-Sik Jo (Mar. 2021). "Towards Aircraft Maintenance Metaverse Using Speech Interactions with Virtual Objects in Mixed Reality". In: *Sensors* 21.6, p. 2066. DOI: [10.3390/s21062066](https://doi.org/10.3390/s21062066).
- EuroStats (2021). *Accidents at Work statistics*. Tech. rep. URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents\\_at\\_work\\_statistics#Number\\_of\\_accidents](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents_at_work_statistics#Number_of_accidents) (visited on 06/19/2021).
- Morizono, T. et al. (n.d.). "Control laws to asymptotically improve kinesthetic transparency of a wearable joint". In: *Proceedings 2003 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM 2003)*. IEEE. DOI: [10.1109/aim.2003.1225106](https://doi.org/10.1109/aim.2003.1225106).



## CHAPTER 9

---

### Anexos

---

#### Resumen del capítulo

*En este capítulo de Anexos introducimos información que podría ser de interés pero que no son parte del cuerpo de la tesis explícitamente.*

## 9.1 Anexo I. Cuestionario a alumnos en la experiencia piloto

En el siguiente anexo se incluye la información referente al cuestionario realizado por los usuarios de la experiencia piloto. En las figuras 16 y 17 podemos observar las cuestiones realizadas.

Sobre el cuestionario presentamos los datos en formato de gráficas de la siguiente manera:

- La distribución por sexos la encontramos en la figura 18
- La distribución por edades la encontramos en la figura 19
- Las respuestas a la pregunta “¿Te pareció una buena forma de adquirir contenidos?” las mostramos en la figura 20 formato de gráfica de barras. Donde la puntuación de 10 representaba una forma excelente, y 0 una forma muy mala de adquirir contenidos
- Las respuestas a la pregunta “¿Te pareció sencilla de utilizar?” las mostramos en la figura 21 en formato de gráfica de barras. Donde una respues de 10 quería decir muy sencilla y 0 muy difícil de utilizar.
- Las respuestas a la pregunta “¿Sentiste signos de mareo?” las mostramos en la figura 22 en formato de gráfica de barras. Donde 10 representa signos de marea sensibles, constantes y que dificultaba o bloqueaban la experiencia y 0 ningún signo de mareo.
- Las respuestas a la pregunta “Dificultad para entender que hacer” las mostramos en la figura 23 en formato de gráfica de barras. Donde 10 representaba una dificultad muy alta para entender la experiencia formativa y 0 representaba una dificultad muy baja de saber que hacer.
- Las respuestas a la pregunta “¿El movimiento te pareció fluido?” las mostramos en la figura 24 en formato de gráfica de barras. En esta cuestión, una respuesta de 10 representa una fluidez continua y nítida sin ninguna sensación de *freezing* o bloque do pantalla, 0 representaba una fluidez inexistente con multitud de bloqueos que hacian muy difícil realizar la formación.

## Experiencia Piloto con Créame

Gracias por ayudar en la experiencia piloto.  
Recuerda que necesito completar este formulario por cada ejecución de las 9 (3 por ejercicio) que harás

**\*Obligatorio**

**Identificador de usuario en CreaMe \***

Este número te lo tiene que haber dado o Pedro o Angel, para que lo introduzcas aquí y yo poder correlacionar tus datos en la experiencia con estos formulario

Elige ▼

**Sexo \***

Hombre

Mujer

**Edad \***

Elige ▼

**¿Te pareció una buena forma de adquirir los contenidos? \***

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

No, muy mala            Insuperale

Figure 16: Primera parte del cuestionario a los alumnos de la experiencia piloto de CreaMe  
Fuente: Elaboración propia

¿Te pareció sencilla de utilizar? \*

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Muy complicada             Muy Sencilla

Sentiste signos de mareo \*

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Ningún signo de mareo            No he podido acabarlo

Dificultad para entender que tenías que hacer \*

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Ninguna dificultad            Enormemente difícil

¿El movimiento de la experiencia ha sido fluido? \*

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Había muchos, saltos, bloqueos y parones            Perfecto.

Sugerencias

Cualquier sugerencia para mejorar el ejercicio será de gran ayuda

Tu respuesta

Enviar

Figure 17: Segunda parte del cuestionario a los alumnos de la experiencia piloto de CreaMe  
Fuente: Elaboración propia

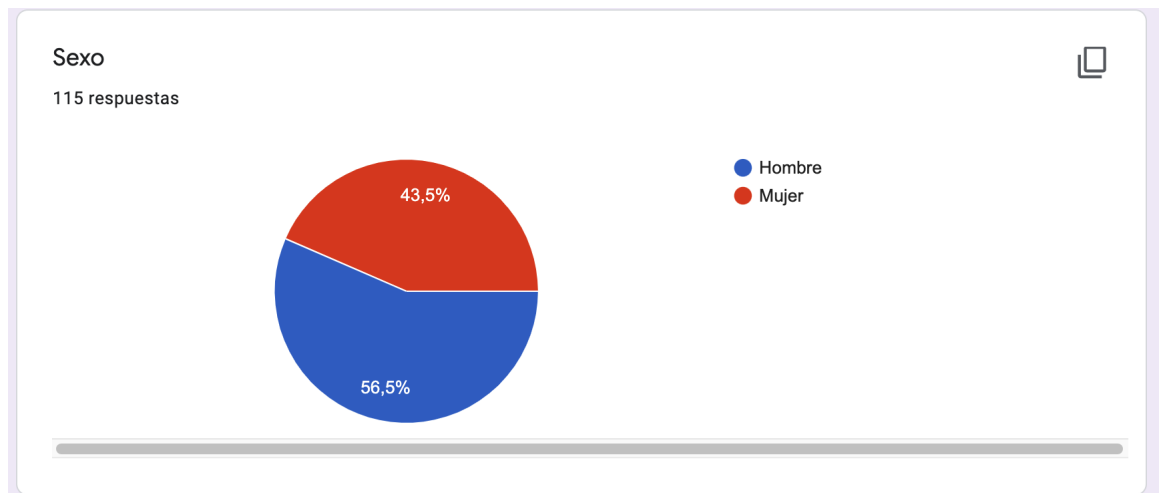


Figure 18: Distribución por sexos de los alumnos que participaron en la experiencia piloto de Creame  
Fuente: Elaboración propia

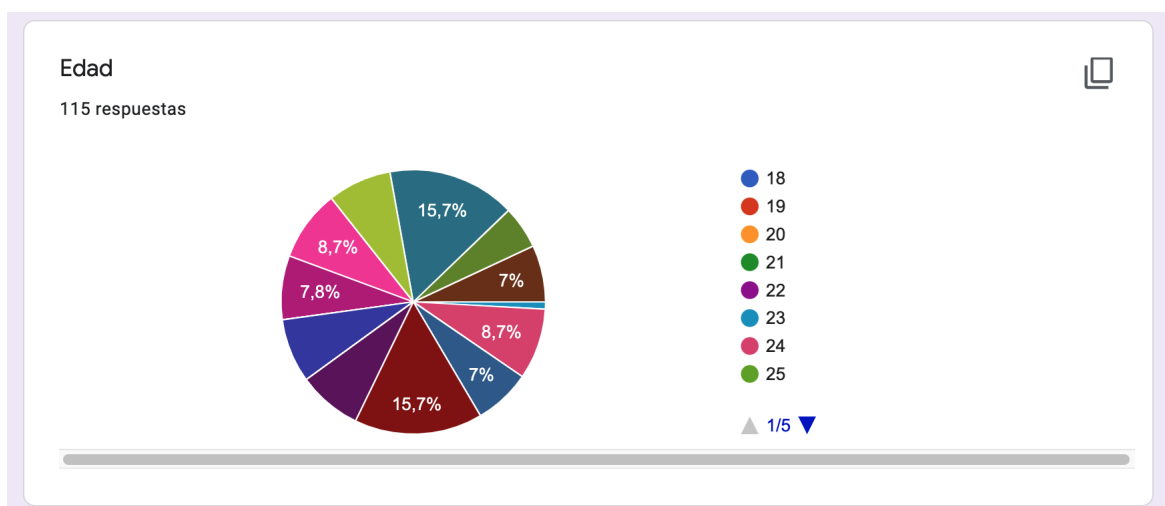


Figure 19: Distribución por edades de los alumnos que participaron en la experiencia piloto de Creame  
Fuente: Elaboración propia

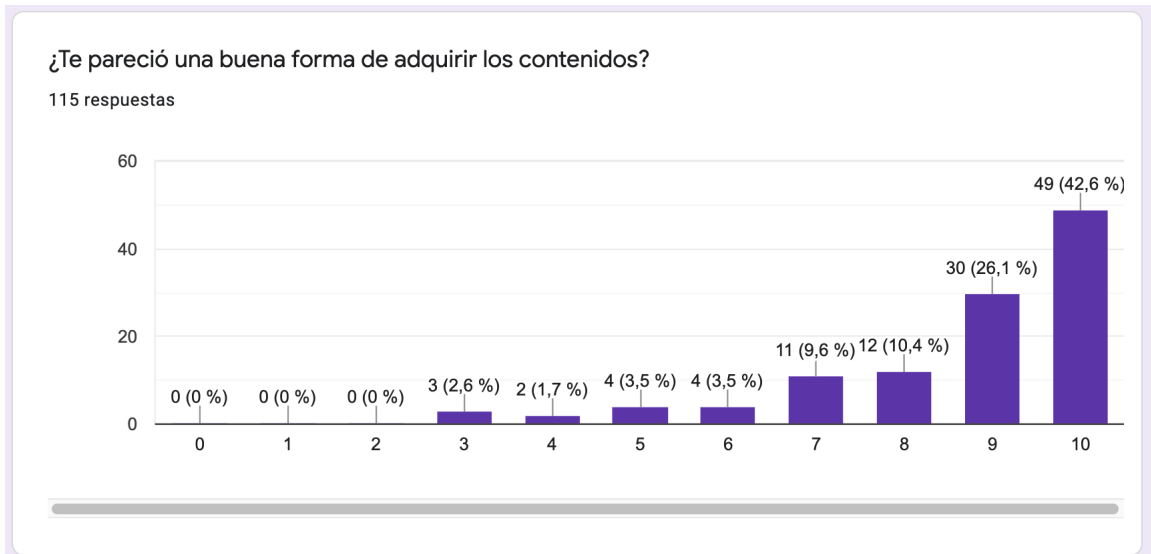


Figure 20: Distribución de las respuestas a la pregunta: ¿Te pareció una buena forma de adquirir contenidos?

Fuente: Elaboración propia

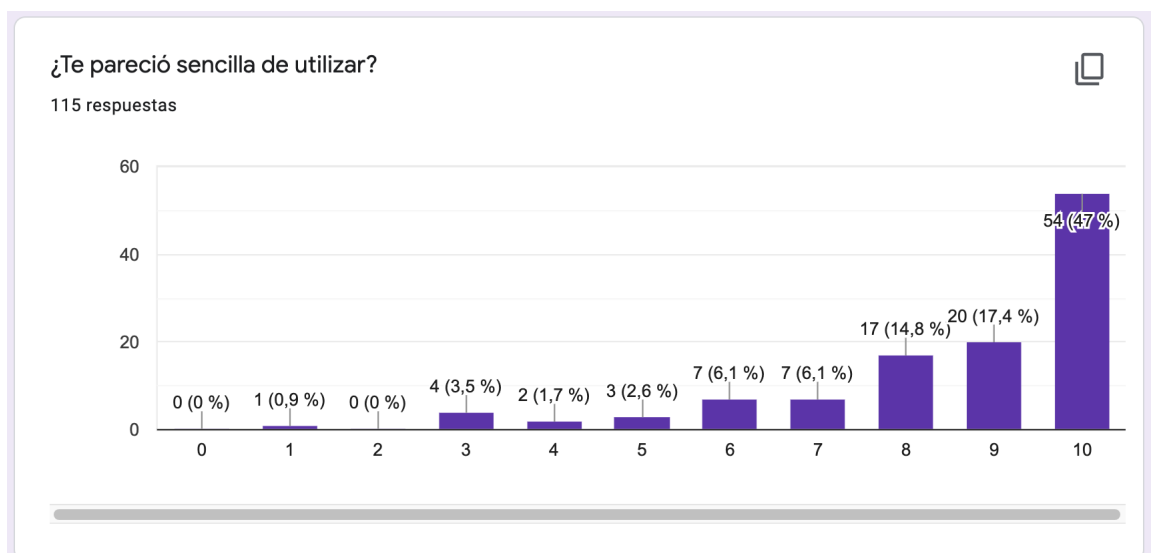


Figure 21: Distribución de las respuestas a la pregunta: ¿Te pareció sencilla de utilizar?

Fuente: Elaboración propia

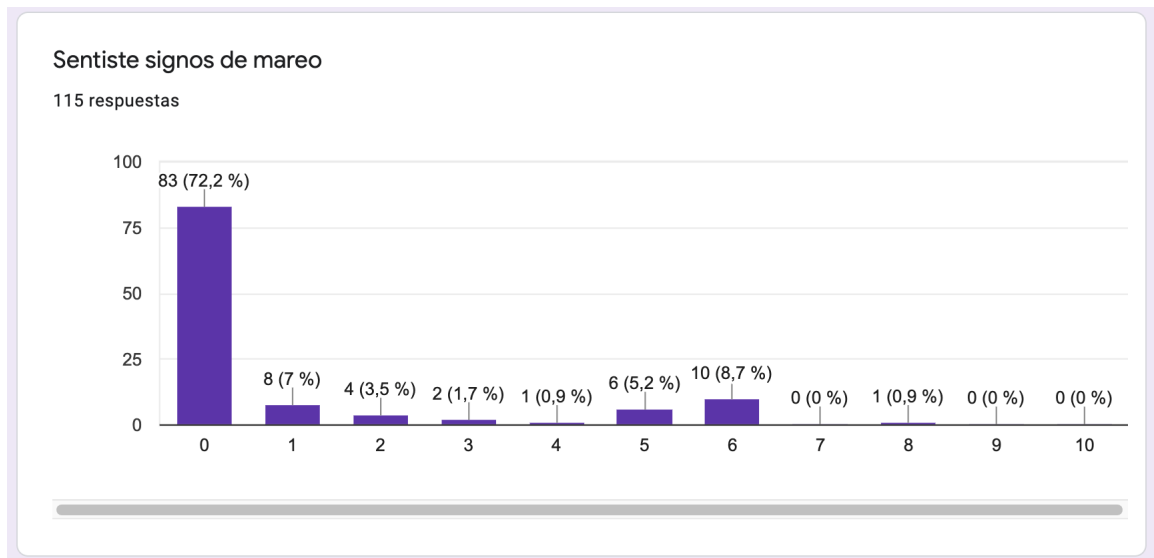


Figure 22: Distribución de las respuestas a la pregunta: ¿Sentiste signos de mareo?

Fuente: Elaboración propia

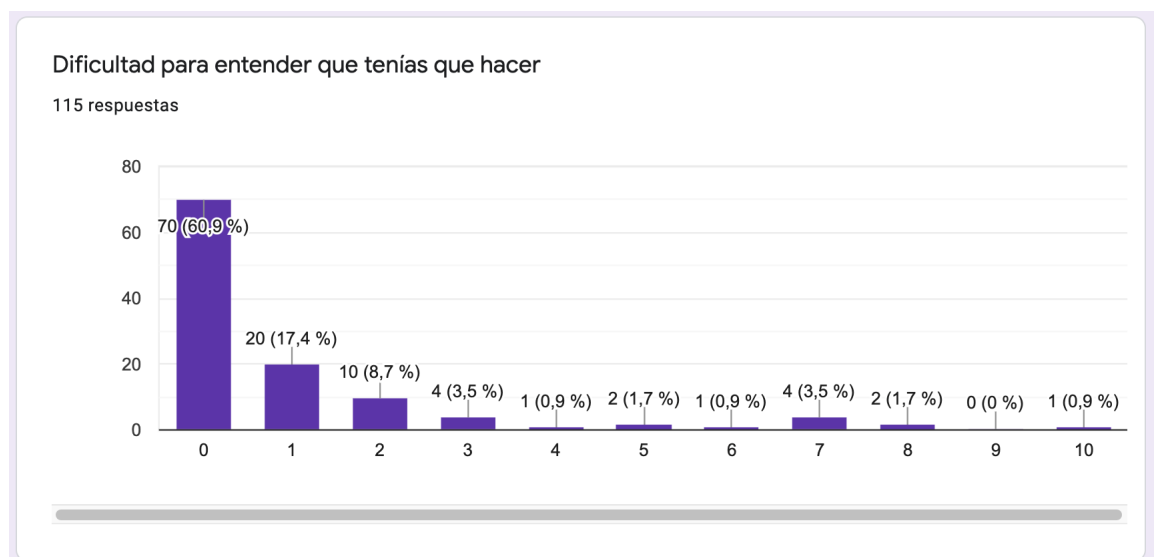


Figure 23: Distribución de las respuestas a la consulta :Dificultad para entender que hacer

Fuente: Elaboración propia

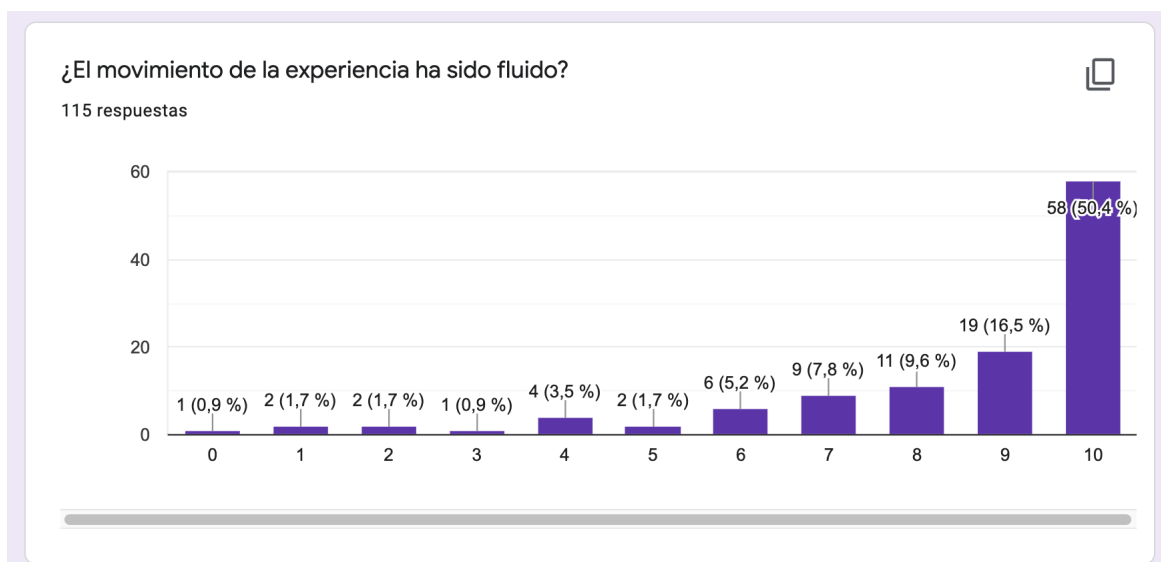


Figure 24: Distribución de las respuestas a la pregunta: ¿El movimiento te pareció fluido?  
Fuente: Elaboración propia



## 9.2 Anexo II. Cartas de apoyo de la empresa privada

Como parte de las conclusiones de este trabajo de investigación se han creado alianzas estratégicas con distintas entidades que han visto en la solución aquí planteada un elemento de alto valor como producto comercializable.

A continuación, exponemos cartas de apoyo de:

- IBM: Carlos Creus, Director del Sector Industria en IBM España.
- Vector ITC Group: Rafael Conde, Director of Innovation, Strategy and Technology.
- Unified CloudSystem: Mario Monge, CEO y socio fundador.

Estás cartas están orientadas al apoyo de la comercialización de los resultados de la investigación por parte de la start-up de Fidesol denominada Open Ingenius

## **CARTA DE APOYO DE IBM AL PROYECTO CREAME DE OPEN INGENIUS**

A través de la presente carta, quiero manifestar nuestro apoyo al proyecto CREAME pensado para el aprendizaje, la capacitación y la formación de personas a través de la inmersión virtual y la realidad mixta.

Consideramos que esta iniciativa puede ser de gran interés para el sector industrial, donde es importante disponer de soluciones formativos adecuados y específicas para cada actividad, mejorando la productividad de las personas, al tiempo que se garantizan su seguridad e integridad física.

La plataforma de formación CREAME hace uso de distintos servicios que ofrece IBM Cloud y que le confieren a la plataforma la robustez y el rendimiento necesarios para ofrecer una experiencia formativa única.

En Madrid a 30 de junio de 2021.

Fdo: Carlos Creus  
Director del Sector Industrial en IBM España



**CARTA DE INTERÉS DE VECTOR ITC GROUP  
PARA ALBERGAR UN PILOTO DE LA SOLUCIÓN  
DE INMERSION VIRTUAL DE OPEN INGENIUS**

VECTOR ITC GROUP es una empresa que cuenta con un equipo humano de más de 2.500 profesionales y que tienen presencia a nivel nacional e internacional, con sedes en EE.UU., Perú, Brasil, Chile, México, Colombia, Paraguay, Reino Unido y Alemania.

Dentro del Grupo está insertada VECTOR ACADEMY que es un centro de formación focalizado en las nuevas tecnologías, las tendencias digitales, y los procesos de innovación y que permitirá albergar en sus instalaciones y en marco de sus programas formativos tanto del **Innovation Training Center** (*formación para profesionales*) como del **Technology Learning School** (*formación para jóvenes 8-17 años*) la solución de inmersión virtual para capacitación que está desarrollando OPEN INGENIUS.

De igual forma, en caso de éxito de la experiencia, Vector ITC Group analizaría la posibilidad de establecer una alianza comercial con Open Ingenius que permitiera complementar las soluciones software que el Grupo oferta a sus clientes.

Para que así conste, se firma la presente carta en Madrid a 1 de Julio de 2021.



Rafael Conde  
Director of Innovation, Strategy and Technology  
Vector ITC Group

## **CARTA DE COMPROMISO DE UCS PARA ESTABLECER UN ACUERDO DE PARTNER QUE SIRVA DE CANAL COMERCIAL PARA OPEN INGENIUS**

A través de la presente carta quiero manifestar mi interés en poder establecer un acuerdo comercial con Open Ingenius, en donde **UCS (Unified Cloud Services)** se convierta en distribuidor oficial de la solución de inmersión virtual de Open Ingenius.

UCS es una empresa especialista en la comercialización de productos tecnológicos básicamente Cloud y en modalidad mediante pago por uso. En esta estrategia ha logrado consolidar su posición de mercado a través de las ventas de sus soluciones tecnológicas a diferentes universidades entre las que destacan, entre otras, las siguientes: Universidad Politécnica de Madrid, Universidad Autónoma de Barcelona, Universidad de Alcalá de Henares, Universidad Politécnica de Barcelona, Universidad de Málaga, etc. Logrando, como gran garantía de calidad y de llegada comercial, que algunas de sus soluciones tecnológica para la Universidades están avaladas por la CRUE (Consejo Rector Universidad Españolas) donde están agrupadas 76 universidades españolas: 50 públicas y 26 privadas.

En el ámbito internacionalización, UCS esta en proceso de apertura de mercado en dos mercados objetivo: Colombia y Australia.

En base a esto, consideramos que una solución de formación mediante inmersión virtual como la que quiere ofrecer Open Ingenius puede representar una nueva línea comercial de cara a dar mayor valor añadido a nuestros clientes del área de la formación y universidad y ofrecemos a Open Ingenius la oportunidad de ser su canal de llegada a nuestros clientes de universidades.

Y para que conste, firmo la presente carta de compromiso, en Madrid a 1 de Julio de 2021.

Fdo: Mario Monge  
CEO UCS

### 9.3 Anexo III. Glosario de términos

- **API-KEY** Concepto de ciberseguridad por el cual una API identifica a la aplicación o software que invoca sus servicios. Este medio se propuso sobre el estándar Web2.0 para reconocer el código fuente que invoca un servicio.
- **Arquitectura orientada a servicios (SOA)** Arquitectura de desarrollo software por el cual los elementos o módulos que intervienen en un software se comunican mediante un paso de mensaje estructurado. Habitualmente XML
- **Brain Computer Interfaces (BCI)** elemento software o algoritmo que adquiere señales cerebrales, las analiza y las traduce en órdenes que se transmiten a un dispositivo de salida para llevar a cabo una acción deseada.
- **Brain Machine Interface (BMI)** Elemento de detección de señales celebrables para interactuar con un dispositivo o maquinaria. Estas interfaces pueden ser superficiales.
- **Chief Security Officer (CSO)** Responsable de la ciberseguridad de una organización
- **cifrados X.509** Formato estándar de cifrado de clave pública
- **Collaborative-robot (Co-robot)** Describen aquellos robots que realizan una tarea en colaboración con el usuario. Mediante su uso podemos dotar de más información al usuario, mejorar su productividad, simplificar su tarea o cualquier otra capacidad añadida
- **Contenedor** En el argot de ciencias de la computación un contenedor es un artefacto software por el cual la ejecución de un sistema está aislada para su ejecución segura dentro de una máquina virtual con unas características de ejecución muy específicas
- **Docker** Docker es una herramienta para despliegue de contenedores.
- **End Point** En ciberseguridad y comunicaciones de computadoras se refiere a los puntos finales de una comunicación o proceso de transferencia de información

- **Event driven architecture** Arquitectura de desarrollo software por el ciclo de vida de la lógica de negocio del sistema está gobernada por la aparición de eventos que por definición son asíncronos y dependientes unos de otros
- **Head Mounted devices (HMD)** Co-robot de percepción que se sitúa en la cabeza y ofrece una pantalla, o varias al usuario. Habitualmente ofrece otros servicios como micrófono, auricular o head-tracking
- **Head-tracked** Proceso por el cual un dispositivo es capaz de ofrecer la información referente al movimiento de la cabeza. Pudiendo dotar así a sistemas informáticos de la orientación de cabeza del usuario
- **Human Augmentation** Campo de la ciencia que trata de buscar la mejora de la productividad del usuario por medio de la aplicación de tecnologías como co-robot, wearable, o gafas de realidad extendida
- **Human Enhancement** Campo de la ciencia que busca la mejora del cuerpo humano en sí mismo. Ofreciendo así una mejora de sus capacidades naturales
- **Human Power** Subárea de Human Augmentation que busca la mejora de las características físicas del ser humano, como son fuerza, resistencia o agilidad.
- **K-12** Designación utilizada en algunos sistemas educativos para la escolarización primaria y secundaria (hasta 12 años)
- **Kinestia Transparente (Transparent Kinesthetic)** La kinestesia es la ciencia que estudia el movimiento humano o la sensación de la percepción como movimiento universal. La kinestesia transparente trata de buscar la relación de movimiento que existe entre un co-robot y su usuario con el fin de igualar los movimientos.
- **Kinestesia (cinestesia)** La kinestesia (cinestesia) es la ciencia que estudia el movimiento humano o la sensación de la percepción como movimiento universal. Esta herramienta

se usa para sustituir o potenciar las funciones corporales relacionadas con propiocepción.

- **Realidad virtual** La realidad virtual es el concepto abstracto por el cual, un usuario percibe un mundo ficticio y digital con sus propias reglas y comportamientos. En función de la separación del usuario de la realidad subyacente no encontraremos en una inmersión virtual o solo en una experiencia virtual
- **Realidad mixta** Realidad extendida por el cual se fusionan las capacidades de la realidad virtual y la realidad aumentada en la percepción del usuario
- **Realidad aumentada** Realidad extendida por el cual la percepción del usuario se aumenta a partir de información digital. Esta información puede estar basada en el entorno del usuario
- **RESTful** Arquitectura de desarrollo software por medio de diseño de API de integración basado en REST que es un medio de intercambio de mensaje con un nivel de abstracción mayor que SOA que simplifica su uso. Habitualmente el lenguaje de intercambio de información es JSON
- **Shared presence** Concepto por el cual, usuario y robot comparten un punto de vista similar. De forma que el usuario posee la sensación de presencia y sentido del robot
- **Secure Socket Layer (SSL)** Protocolo de seguridad por medio de la encriptación punto a punto sobre la capa de transporte del estándar OSI
- **STEM** Término para referirse a materias de educación en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas
- **Supernumerary Robotic Limbs (SRL)** Habitualmente robots vestibles (wearable) que ofrecen al usuario un conjunto de una o más extremidades añadidas para ayudarle en sus tareas.

- **Transport Layer Security (TLS)** Protocolo de comunicación seguro sobre SSL que actúa sobre la capa de transporte
- **Unity3D** Herramienta de diseño de videojuegos en 3D. Actualmente es una de las herramientas más utilizada para el desarrollo de experiencias virtuales
- **Virtual Continuum** Representación lineal de las realidades extendidas donde, a un lado de la línea tenemos la realidad virtual y al otro el entorno real sin extensiones. En medio de esta línea se localizan las distintas realidades extendidas. A su vez en paralelo encontramos la realidad mixta como una fusión de varias realidades.
- **Virtual Reality Language Model (VRLM)** Lenguaje de descripción de entornos virtuales propuesto en 1995 y diseñado fuertemente para el uso en web cuyo objetivo era procesar y renderizar de forma nativa mundos virtuales.
- **Web Token** Es un estándar abierto basado en JSON propuesto para la creación de tokens de acceso que permiten la propagación de identidad y privilegios