

Impacto y Efectividad de los Simuladores de Seguridad Industrial en la Prevención de Accidentes Laborales


Impact and Effectiveness of Industrial Safety Simulators in the Prevention of Workplace Accidents

Ing. Luis Marcelo Anchaluisa Parra, MsC.; Ing. Santiago Manuel Arellano Grijalva



**CONFLUENCIA DE
INNOVACIONES CIENTÍFICAS
Enero - junio, V°5-N°1; 2024**

- ✓ **Recibido:** 02/01/2024
- ✓ **Aceptado:** 14/01/2024
- ✓ **Publicado:** 30/06/2024

PAIS

 **Santo domingo, Ecuador**
Tulcán, Ecuador



INSTITUCIÓN

-  **Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila**
-  **Instituto Superior Tecnológico Vicente Fierro**

CORREO:

- ✉ marcelin_9631@hotmail.com
- ✉ arellanogrijalvasantiago@gmail.com

ORCID:

-  <https://orcid.org/0009-0003-5824-4075>
-  <https://orcid.org/0009-0004-4284-4057>

 **FORMATO DE CITA APA.**

Anchundia, L., Arellano, M. (2024). *Impacto y Efectividad de los Simuladores de Seguridad Industrial en la Prevención de Accidentes Laborales*. Revista G-ner@ndo, V°5 (N°1), 40-63.

Resumen

El objetivo de esta revisión de literatura es explorar diversos simuladores, incluyendo versiones web, de escritorio y móviles, que puedan contribuir a la solución de problemas relacionados con accidentes laborales en entornos industriales. Estos aplicativos están estrechamente vinculados con sensores personalizados, que permiten la prevención de riesgos laborales. Nuestra investigación también busca demostrar que el uso de herramientas tecnológicas puede reducir significativamente los accidentes laborales. Estas herramientas son el resultado de una serie de algoritmos investigados e implementados con el objetivo de integrar la Seguridad Industrial en el ámbito tecnológico. En este artículo de revisión bibliográfica, detallamos una serie de hallazgos, indagaciones y definiciones que hemos descubierto en el curso de nuestra investigación. Creemos firmemente que la tecnología puede jugar un papel crucial en la mejora de la seguridad en el lugar de trabajo, y esperamos que nuestras conclusiones puedan contribuir a este campo en constante evolución.

Palabras clave: seguridad, simulador, planta, industria, accidente, operador, riesgo, tecnología

Abstract

The aim of this literature review is to explore various simulators, including web, desktop, and mobile versions, that can contribute to solving problems related to workplace accidents in industrial environments. These applications are closely linked with custom sensors, which allow for the prevention of occupational hazards. Our research also seeks to demonstrate that the use of technological tools can significantly reduce workplace accidents. These tools are the result of a series of algorithms researched and implemented with the goal of integrating Industrial Safety into the technological sphere. In this bibliographic review article, we detail a series of findings, inquiries, and definitions that we have discovered in the course of our research. We firmly believe that technology can play a crucial role in improving safety at the workplace, and we hope that our conclusions can contribute to this constantly evolving field.

Keywords: security, simulator, plant, industry, accident, operator, risk, technology

Introducción

La mayoría de los accidentes en la industria son causados por situaciones anormales, las cuales se definen como desviaciones de las condiciones de operación óptimas. Estas desviaciones pueden introducir incertidumbre en el sistema, lo que a su vez puede resultar en el cierre forzoso de la planta o en la ocurrencia de un accidente grave (Nazir, Kluge & Manca., 2014). A pesar de que se han atenuado algunas razones de los accidentes industriales en los últimos años, la cifra total de incidentes anuales sigue creciendo. El fallo humano es uno de los principales factores de accidentes en todas las industrias, incluyendo la de procesos. La seguridad de los procesos aún es un área relativamente nueva y subdesarrollada, tanto en la investigación como en el ámbito académico (Manca, Colombo & Nazir, 2013). Los progresos tecnológicos en la seguridad de entornos industriales han experimentado significativos avances en los últimos años. A pesar de ello, persisten riesgos vinculados al bienestar y la salud de los empleados. Por consiguiente, es imperativo desarrollar nuevos conocimientos y tecnologías que aseguren de manera integral la seguridad y el bienestar constante de los trabajadores en fábricas dedicadas a la manipulación, mecanizado y montaje. Esto posibilitará que los trabajadores se conviertan en elementos cruciales para la competitividad y distinción en el marco del nuevo paradigma productivo (Giménez, 2011).

La complejidad existente exige la adopción de técnicas y herramientas avanzadas para reducir la susceptibilidad de los sistemas y operaciones a riesgos y accidentes, con el objetivo de prevenir la pérdida potencial de producción, sustancias químicas, recursos y hasta operadores (Broadribb, 2015; Nazir, Kluge & Manca, 2014). El simulador de planta (PS) puede ser una opción apropiada para enseñar, capacitar y evaluar el desempeño de los trabajadores que llevan a cabo tanto tareas cognitivas como manuales (Nazir, Kluge & Manca, 2014).

Desarrollo de contenidos antecedentes

Existen distintas fases previas a la aparición de un accidente grave. En la

Figura 1 ilustra una pirámide que representa diferentes tipos de situaciones e incidentes antes de que ocurra un accidente de gravedad. La mayoría de estas situaciones, incluyendo comportamientos inseguros, casi accidentes e incidentes menores, pueden prevenirse si se toman medidas apropiadas de manera oportuna y constante. Si se logra controlar la situación durante las tres primeras etapas de la pirámide, es posible evitar accidentes graves (Nazir, Kluge & Manca, 2014).



Fig. 1. Pirámide de seguridad que refleja las diferentes etapas antes de llegar al incidente grave (PSE lab, Politécnico di Milano).

El Simulador de Planta (PS) comprende los siguientes elementos y características:

- a. Simulador de procesos dinámico
- b. Simulador de accidentes dinámico
- c. Entornos virtuales y de realidad virtual aumentada
- d. Evaluación dinámica del desempeño

El simulador de procesos dinámico simula el funcionamiento de una planta industrial, pero no puede predecir lo que sucedería en caso de accidente. El simulador de accidentes dinámico, por su parte, recibe información del simulador de procesos sobre posibles liberaciones de materiales peligrosos y calcula su evolución en tiempo real. También cuantifica los efectos del accidente en el entorno y en los operadores. Para cerrar el ciclo, el simulador de procesos recibe como entrada los datos del simulador de accidentes para calcular los efectos del accidente en las variables del proceso. En resumen, los dos simuladores interactúan entre sí

para proporcionar una representación realista de un accidente industrial (Nazir & Manca, 2015). La primera dimensión de nuestra revisión se sumerge en las características tecnológicas de los sistemas VR/AR-CS. Numerosos sistemas VR/AR han demostrado eficiencia, usabilidad, aplicabilidad y precisión en diversos aspectos de la seguridad en la construcción, desde la identificación de peligros hasta la formación y educación en seguridad, así como la inspección y presentación de informes de seguridad. Esta sección proporciona una exploración profunda de los avances tecnológicos que han contribuido significativamente a la mejora de la seguridad en la construcción a través de aplicaciones VR/AR (Li, Yi, Chi, Wang & Chan, 2018).

La segunda perspectiva explora los diversos dominios de aplicación de la VR/AR-CS. Las simulaciones interactivas de escenarios de construcción peligrosos han demostrado ser un logro destacado, ofreciendo una experiencia realista e inmersiva para la formación y educación. Además, se han propuesto mecanismos de mejora de la seguridad mediante VR/AR, abordando preocupaciones dentro del entorno laboral, el comportamiento de los trabajadores, equipos de alto riesgo y secuencias de trabajo.

Entornos virtuales y de realidad virtual aumentada

En la década de 1990, comenzaron a destacar los beneficios de emplear Entornos Virtuales Inmersivos (IVE, por sus siglas en inglés) en la formación de operadores. Recientemente, la accesibilidad, la reducción de costos y la integración de características como la Realidad Virtual Aumentada (RVA) han convertido a los IVE en una herramienta viable para la capacitación. En términos de aprendizaje, un exhaustivo análisis realizado por (Dalgarno & Lee, 2010) demuestra las "oportunidades de aprendizaje" de los IVE en diversos contextos. El valor añadido de esta metodología, especialmente en el ámbito de la seguridad de procesos, radica en la capacidad de simular diversas situaciones anómalas y escenarios de accidentes dentro de un entorno virtual, situaciones que son prácticamente imposibles de replicar en un entorno real.

Características y funcionamiento de entornos virtuales y realidad virtual aumentada

El Simulador de Planta (PS) permite al operador no solo comprender los pormenores del proceso, sino también sumergirse virtualmente en las sensaciones y emociones asociadas. El entorno virtual proporciona una representación estereoscópica tridimensional (3D) del espacio de la planta con sonidos de fondo reproducidos con alta fidelidad (a través de altavoces multipunto) para intensificar la inmersión en la experiencia de formación. Los IVE son entornos tridimensionales inmersivos que posibilitan a los operadores llevar a cabo tareas y colaborar en una representación virtual de su entorno laboral convencional. La capacidad del PS para crear entornos dinámicos, inmersivos y tridimensionales, donde se puede registrar la respuesta conductual, ofrece diversas opciones de evaluación y rehabilitación que no están disponibles con métodos de evaluación convencionales (Manca, Nazir, Lucernoni & Colombo, 2012). Un IVE constituye un entorno sintético que permite al operador entender tanto los esquemas del proceso como los de la planta por ejemplo como se muestra en las, Figura 2 y Figura 3, además, posibilita experimentar los sentimientos y emociones correspondientes a la realidad. Durante la sesión de entrenamiento, el operador vive su presencia física dentro del entorno renderizado, donde puede moverse libremente alrededor del equipo virtual sin el riesgo de lesiones, exposición a radiación térmica o impacto de eventos de accidentes reales.

De hecho, existe la oportunidad de experimentar las mismas emociones y sentimientos que se experimentarían en la realidad, como ansiedad, miedos y preocupaciones similares (Aggarwal, Black, Hance, Darzi & Cheshire, 2006).

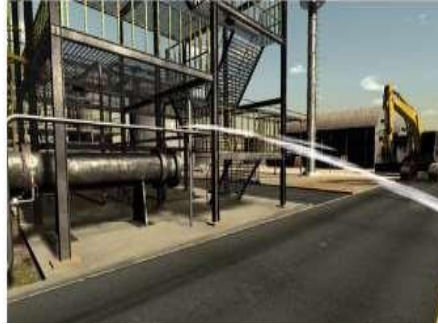


Fig. 2. Simulación en Entornos Virtuales Inmersivos (IVE), el cual nos muestra una fuga en una tubería, la interfaz es idéntica a la realidad. (Colombo & Golzio, 2016)



Fig. 3. Simulación en Entornos Virtuales Inmersivos (IVE), el cual nos muestra una subsección de una refinería. (Colombo & Golzio, 2016)

La incorporación de la función de RVA a los IVE puede mejorar sustancialmente el nivel de entrenamiento de los operadores, ya que les permite visualizar aspectos ocultos del proceso. La función de RVA capacita al operador para entender y cuantificar la información de fondo. Algunos ejemplos de la RVA aplicada a operaciones normales del proceso incluyen la estructura y operación internas del equipo, la naturaleza de las reacciones y las variables del proceso, los caudales y retenciones en tuberías y recipientes. La RVA también puede

utilizarse para entrenar a los operadores en condiciones anómalas y de accidentes, proporcionando información sobre la radiación térmica emitida por equipos sobrecalentados e incendios de accidentes, la carga térmica absorbida por el PS en función de sus dispositivos de protección personal y tiempos de exposición, la concentración de componentes tóxicos en una nube de gas densa/flotante emitida por una unidad dañada, la sobrepresión incidente en caso de deflagración/detonación con la probabilidad de rupturas de tímpanos y pulmones. Como resultado, los detalles y la dinámica del proceso pueden comprenderse mejor con el respaldo de la RVA.

Caso práctico de entornos virtuales inmersivos (ive) – realidad virtual aumentada (rva)

En la práctica realizada se presentó un escenario práctico que simuló la rotura de una brida en una tubería de butano en una refinería de petróleo. La acción involucró a una excavadora que impactó accidentalmente un bastidor de tuberías, desencadenando la rotura y la liberación de butano inflamable. La colaboración entre un operador de procesos (CROP) y un operador de campo (FOP), como se observa en la Figura 4, resulta esencial para gestionar la situación. Se utilizó un simulador que replica la sala de control real, permitiendo a ambos operadores desempeñar sus roles y abordar el accidente. La secuencia de eventos se controló mediante un programador, y el experimento registró datos para evaluar el desempeño de los operadores. Este enfoque, basado en simuladores de procesos y accidentes, contribuye a la formación de operarios industriales y facilita la identificación del equipo óptimo para mejorar la eficacia y la seguridad industrial, con dicho evento se comprobó la utilidad que los apéndices entrenados con el PS fueron capaces de mitigar las consecuencias del accidente simulado (Nazir, Colombo & Manca, 2013; Nazir & Manca, 2015).



Fig. 4. Representación del concepto de PS (Simulador de Planta). (PSE lab, Politécnico di Milano)

Diseño de un laboratorio virtual para la gestión técnica de factores de riesgos físicos en seguridad industrial

Este proyecto se llevó a cabo mediante la recopilación de material bibliográfico sobre laboratorios virtuales y su impacto en la educación para la formación de profesionales en Seguridad Industrial. El objetivo principal era diseñar un laboratorio virtual para la gestión técnica de factores de riesgos físicos en Seguridad Industrial, haciendo uso de herramientas tecnológicas. Para elegir la herramienta de aplicación, se realizó un análisis de criterios y evaluación de alternativas, considerando opciones como Second Life, Unity 3D y Virtual Plant. En la implementación del laboratorio, se incorporaron componentes como sonido, avatares para la interacción del usuario, cuadros de diálogo con instrucciones de uso y movimiento del avatar todo implementado mediante el lenguaje de programación C# en Unity. Con el propósito de facilitar la comprensión del laboratorio virtual, se creó un manual de uso detallando los temas abordados y su funcionamiento. El proyecto busca fomentar el desarrollo de profesionales capaces de interactuar con la sociedad tecnológica, mejorando su formación mediante simuladores de la vida real en temas de Seguridad Industrial. Estos laboratorios se consideran herramientas de apoyo académico para docentes y alumnos, permitiendo superar el temor a cometer errores, desarrollar nuevas habilidades y fomentar la competitividad. Las tendencias

tecnológicas actuales en el proceso de enseñanza-aprendizaje posibilitan la interactividad virtual de laboratorios, beneficiando a docentes, estudiantes e instituciones universitarias al complementar los aprendizajes con casos prácticos. Esto lleva al futuro profesional a experimentar situaciones reales relacionadas con la Seguridad Industrial, como se observa en la Figura 5 (la planta de procesos). De esta manera contribuye su formación y preparación para enfrentar desafíos en el ámbito industrial (Chacón & Lizeth, 2021).

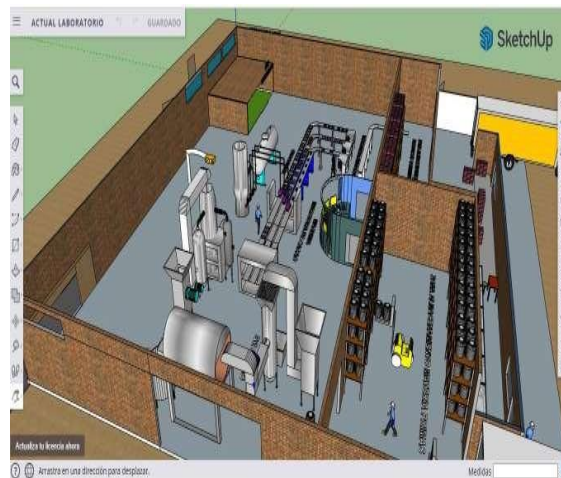


Fig. 5. Pre diseño de la planta Industrial, industrial (Chacón & Lizeth, 2021)

En el ámbito del control, se supervisa exhaustivamente todo el proceso, el cual comprende un tanque de reserva de leche destinado a mantenerla a una temperatura adecuada hasta el inicio del proceso. Se cuenta con una máquina trituradora de cacao y un horno para tostar el cacao, separando la cascarilla de la pepa que no es útil para el proceso. Además, se utiliza una tolva en el proceso, cuya representación permite al usuario identificar no solo factores físicos, sino también otros elementos que intervienen en su utilización.

A continuación, se encuentra la máquina inyectora de cacao Figura 6, encargada de llenar los moldes según la forma deseada para el chocolate. La línea de producción de pastillas de chocolate está presente en este proceso. Esta representación facilita al usuario la identificación de posibles riesgos ergonómicos en proyectos formativos futuros, especialmente aquellos relacionados con movimientos repetitivos y estar de pie, que son

inherentes al trabajo de empaquetado. Finalmente, se obtiene el producto terminado (Chacón & Lizeth, 2021).

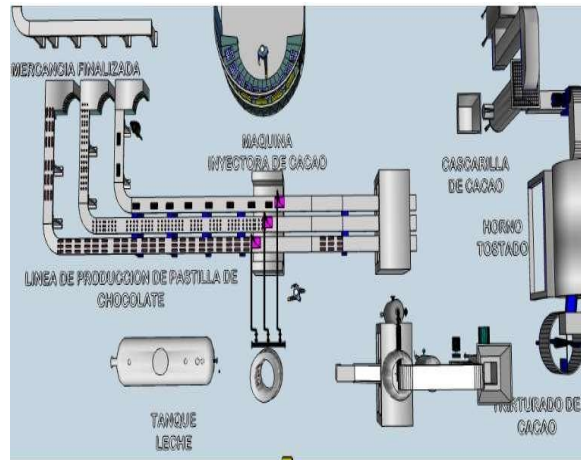


Fig.6. Pre-diseño del proceso de elaboración de chocolate, industrial (Chacón & Lizeth, 2021)

La planta industrial incluye un área de control de calidad junto a la zona de productos terminados (Chacón & Lizeth, 2021). Por otro lado, el diseño elaborado en SketchUp representa una empresadedicada a la producción de chocolate. Consta de diferentes áreas que serán mencionadas más adelante. Se puede encontrar todo el proceso de producción desde que inicia con la llegada de la materia prima hasta el embarque del producto. Como se observa en la Figura 7 los camiones en los extremos de la planta (Chacón & Lizeth, 2021).



Fig.7 Pre diseño de la planta Industrial, camiones encargados del embarque y desembarque, industrial (Chacón & Lizeth, 2021)

A. Aspectos Cognitivos: Los procesos cognitivos y psicomotores, que incluyen la capacidad de toma de decisiones, la atención, el tiempo de reacción, la sensibilidad al contraste y el seguimiento visual, son componentes esenciales de las habilidades de percepción de peligros (Horswill, Marrington, McCullough, Wood, Pachana, McWilliam & Raikos, 2008; Sümer, 2017). El desempeño en seguridad, por otro lado, está influenciado principalmente por el clima de seguridad y el estrés psicológico del empleado (Barling et al., 2002). Las habilidades se trataron desde cuatro dimensiones: habilidades cognitivas, habilidades de aprendizaje observacional, habilidades de autorregulación y habilidades de autorreflexión. En este contexto, la autorreflexión implica el análisis de las experiencias personales y la reflexión sobre los pensamientos y sentimientos propios.

La autorreflexión abarca cuatro dimensiones: pensamientos sobre uno mismo, autoconcepto, autoestima y autoeficacia. De estas, la autoeficacia es la que más impacta en el comportamiento humano. La autoeficacia influye en las decisiones de comportamiento, por lo que tendemos a realizar actividades en las que confiamos. También afecta la persistencia del comportamiento, por lo que cuanto más eficaces somos en una tarea, más esfuerzo invertimos en ella y más tiempo persistimos. La relación entre la autoeficacia y el comportamiento ha sido estudiada en varios contextos, como el académico, el organizativo y el de la salud. Por ejemplo, se ha demostrado que la autoeficacia de los estudiantes está estrechamente vinculada con las características del comportamiento (Kim, 2023).

Implementación de estrategias tecnológicas en la industria de la construcción

La tecnología de juegos puede ser definida como un motor utilizado para desarrollar videojuegos de computadora, como, por ejemplo, Counter Strike. Este proceso implica la integración de diversas tecnologías, como visual, digital, simulación, inteligencia, interactiva, red y operativa multiusuario. Esta tecnología crea un entorno inmersivo de realidad virtual y una interfaz de usuario interactiva y amigable, lo cual ha cautivado a una gran cantidad de

jugadores. Además, gracias al código fuente abierto de la tecnología de juegos, los usuarios finales tienen la capacidad de crear nuevas funciones de manera independiente y sencilla (Guo, Li, Chan & Skitmore, 2012).

La investigación que se detalla a continuación se centró en dispositivos mecánicos robustos, como grúas móviles, grúas torre y excavadoras, debido a su complejidad y prevalencia en proyectos de construcción. La mayoría de los incidentes en obras de construcción están asociados a estos equipos, destacando los derrumbamientos de grúas, los golpes a trabajadores durante las operaciones de elevación, y los accidentes durante el montaje y desmontaje de grúas torre. En el caso de las excavadoras, los principales riesgos incluyen que los trabajadores sean golpeados por objetos o vehículos durante las fases de movimiento y excavación (Guo, Li, Chan & Skitmore, 2012). La tecnología de juegos empleada en la investigación se fundamenta en 3DVIA Virtools, un motor de juegos. Esta tecnología se distingue por su interacción entre el usuario y la computadora, su capacidad para funcionar con múltiples usuarios y su funcionalidad inteligente, lo que la hace diferente de otras tecnologías de visualización o 4D que solo ofrecen materiales visuales a los usuarios. La tecnología de juegos ofrece tanto un entorno visual y virtual como una plataforma interactiva multiusuario con sólidas bases de conocimiento, lo que permite a los usuarios practicar o estudiar una amplia variedad de actividades, como jugar, de manera conveniente (Guo, Li, Chan & Skitmore, 2012). Esto también ofrece un medio adecuado para explicar el funcionamiento del sistema. Considerando que las grúas torre son los equipos más comúnmente utilizados en los sitios de construcción y que frecuentemente ocurren accidentes asociados a ellas, se seleccionó un caso relacionado con el desmantelamiento de grúas torre para la investigación (Guo, Li, Chan & Skitmore, 2012).



Fig.8. Marco conceptual de la aplicación de la tecnología de juegos.

Plataforma de entornovirtual interactivo

La plataforma brinda un entorno virtual interactivo que permite a los usuarios emplear controles de juego, como los de Wii, o teclados para supervisar y gestionar la planta de construcción virtual. Los usuarios tienen la capacidad de desplazar o asignar elementos de construcción virtuales, manejar materiales de construcción, y establecer comunicación y colaboración entre ellos (consulte la Figura 9). Durante estas operaciones, encaso de que ocurran accidentes, como colisiones, o se cometan errores, se despliegan de inmediato cuadros de mensajes de advertencia en forma decuadro de "diálogo". En situaciones donde se identifican problemas de seguridad, estos se pueden marcar con iconos para futuras referencias. Además, los usuarios pueden cambiar su perspectiva de segunda a primera persona o viceversa, facilitando la detección de posibles problemas de seguridad. En resumen, esta plataforma brinda a los alumnos la oportunidad de comprender de manera exhaustiva los problemas de seguridad y prevenir su eventualidad.



Fig.9. Escenarios de comunicación en la plataforma de formación en seguridad, (Guo, Li, Chan & Skitmore., 2012).

Entorno operativo multiusuario

La plataforma respalda operaciones multiusuario basadas en la web. Mientras un usuario opera la planta de construcción virtual o asigna materiales de construcción virtuales desde su ordenador, otros usuarios no solo pueden observar la situación operativa, sino que también pueden ofrecer respuestas independientes o colaborativas a través de una red informática desde sus propias estaciones de trabajo. La Figura 10 exhibe capturas de pantalla simultáneas de la misma situación operativa de la planta desde dos ordenadores diferentes. Esto posibilita la colaboración entre los operarios de la obra en la gestión virtual de la planta de construcción en un entorno virtual. Este entorno virtual facilita la identificación y marcado de posibles problemas de seguridad, como colisiones entre grúas torre, como medida previa para evitar que ocurran en el entorno real futuro.

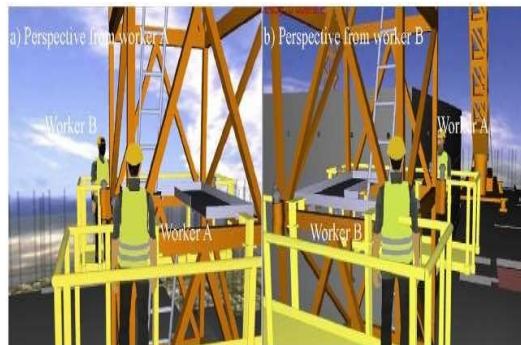


Fig.10. Dos mismas situaciones de planta operativa desde cada uno de los dos ordenadores, (Guo, Li, Chan & Skitmore, 2012).

Entorno operativo inteligente

La plataforma proporciona a los operarios un escenario de operación inteligente y respuestas automáticas mediante el uso de bases de conocimiento que contienen información sobre la planta de construcción, el calendario de construcción y las operaciones de seguridad. Esto habilita la inteligencia y automatización del proceso de formación en seguridad. Por ejemplo, las colisiones pueden ser detectadas y resaltadas automáticamente, y en caso de operaciones

incorrectas, se despliega un mensaje de advertencia de inmediato. Además, aparecen mensajes de advertencia cuando un operario no cumple con el calendario general de construcción. Este enfoque avanzado contribuye de manera significativa a mejorar la conciencia y prevenir riesgos en el entorno de construcción virtual.

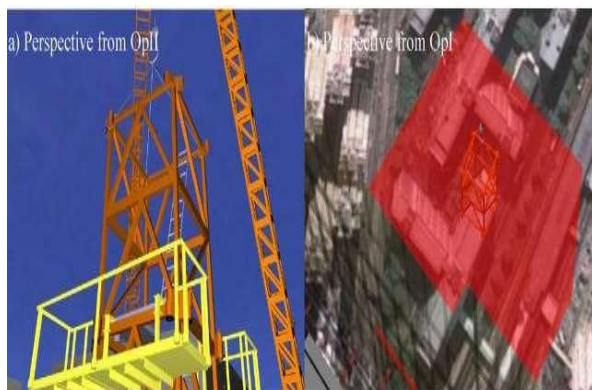


Fig.11. Levante y coloque el elemento de grúa,(Guo, Li, Chan & Skitmore., 2012).

Desafíos En La Evaluación Y Valoración De La Seguridad En Realidad Virtual/Aumentada (Vr/Ar)

Es esencial tener en cuenta en investigaciones futuras los desafíos siguientes que se presentan en el proceso de evaluación:

Las características propias de la percepción y cognición humanas requieren una consideración vital por parte de los desarrolladores durante el diseño de hardware e interfaz. Por lo tanto, los métodos de evaluación deben basarse en el rendimiento obtenido en experimentos a gran escala con participación humana. Igualmente, la evaluación central depende de la capacidad del usuario para reconocer y comprender datos/modelos en entornos de realidad virtual. Actividades cognitivas específicas, como la navegación y la búsqueda, necesitan una atención particular. Es fundamental proporcionar capacitación como se observa en la Figura 12, sobre la capacidad y el conocimiento de las funciones del sistema a los trabajadores antes de iniciar el proceso de evaluación. Además, pueden surgir problemas relacionados con las reacciones de diferentes usuarios ante objetos visualizados, según sus

antecedentes personales y culturales. En este sentido, lograr simplicidad en la visualización de la información durante el proceso de evaluación es esencial para evitar percepciones erróneas y sobrecarga cognitiva (Li, Yi, Chi, Wang & Chan., 2018). Los estudios y teorías psicofísicas podrían ofrecer respuestas y métodos para preguntas relacionadas con la percepción, brindando la oportunidad de mejorar la evaluación del rendimiento mediante la predicción de movimiento en la aplicación de seguridad en la construcción (Li, Yi, Chi, Wang & Chan, 2018).

En esta sección, se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo llevar a cabo una comparación detallada y establecer un punto de referencia entre equipos experimentados e inexpertos, individuos, instructores, operadores, centros de formación y empresas en VR/AR-CS?
- ¿Cómo automatizar el proceso/método de evaluación (por ejemplo, mediante sistemas de recompensa por un rendimiento seguro durante las sesiones de entrenamiento)?
- ¿Cómo evaluar los sistemas VR/AR en aspectos como el tipo de sensor, el ruido de la señal y la disposición del receptor? (Li, Yi, Chi, Wang & Chan, 2018).



Fig.12. Evolución abismal de la realidad virtual en los próximos años, (UPC School)

Métodos y materiales sobre el avances tecnológicos relevantes

Los avances en la evaluación de aplicaciones de Realidad Virtual/Aumentada (VR/AR) para la seguridad en la construcción destacan la experimentación como método de validación

principal, respaldada por procesos basados en el campo y estudios de casos en VR/AR-CS. La evaluación, que combina métodos subjetivos (entrevistas y cuestionarios) y objetivos (tiempo de ejecución, errores), se centra en la eficacia, la usabilidad, la aplicabilidad y el sentimiento de presencia. Los experimentos comparativos entre grupos de VR/AR y procesos tradicionales miden la eficiencia del sistema para abordar problemas de seguridad específicos, mientras que los estudios de casos exploran la idoneidad del sistema para diferentes grupos de usuarios y preocupaciones de seguridad. La sensación de presencia, que es importante en todas las aplicaciones de VR/AR, se evaluó en las pruebas del sistema mediante una encuesta posterior a la capacitación, midiendo la satisfacción y la carga operativa. Se presenta una taxonomía para métodos de evaluación híbridos en futuros estudios VR-CS y se explora en detalle su aplicación en la seguridad de la construcción (Li, Yi, Chi, Wang & Chan, 2018).

En la identificación de peligros, la realidad virtual se destaca como un método orientado a la experiencia para una amplia variedad de participantes en la construcción. Los experimentos con múltiples líneas de base evalúan la efectividad en el reconocimiento de peligros, aunque la diversidad de riesgos en los trabajos limita su representatividad general. El análisis de registros empíricos, una evaluación subjetiva, colabora en la identificación de peligros, involucrando a proyectistas y constructores, como se observa en la Figura 13, e incluso a participantes ajenos a la construcción (Li, Yi, Chi, Wang & Chan, 2018).



Fig.13. Vista parcial del edificio virtual en construcción, (Sacks, Perlman & Barak, 2013)

En la capacitación y la educación, la capacitación en realidad virtual, como se observa en la Figura 14, ha demostrado ser efectiva en ciertas tareas, como el revestimiento de rocas, pero no es igualmente efectiva en la seguridad general del sitio. La integración de las tecnologías VR/AR en los métodos pedagógicos está emergiendo como una dirección importante, respaldada por encuestas que miden la efectividad de formas alternativas de educación, aunque la transferencia de conocimientos sigue siendo un punto clave de evaluación.



Fig.14. Instalación inmersiva de VR en el laboratorio de construcción virtual,
(Sacks, Perlman & Barak., 2013)

En la inspección y capacitación de seguridad, la validación se centra en la inspección de daños y la recuperación de información mediante AR. Los experimentos demuestran el éxito de las mediciones de desplazamiento en edificios dañados como indicador objetivo para evaluar la precisión de los sistemas AR, con tiempos de finalización más cortos y tasas de éxito más altas que los métodos 2D tradicionales.

Resultados

Se llevó a cabo una evaluación comparativa entre la formación proporcionada a través de la plataforma y el método convencional sin el uso de dicha plataforma. Esta evaluación se realizó mediante entrevistas y cuestionarios aplicados a 15 operarios que previamente habían recibido formación utilizando la plataforma. Dado que los detalles del método tradicional variaban entre

diferentes centros, la comparación se basó en la experiencia previa de cada operario. En este contexto, los operarios asignaron puntuaciones a la validez relativa de la plataforma en una escala del 1 al 5, donde 1 representaba una validez baja y 5, una alta.

Se seleccionaron un total de cinco proyectos de construcción, cada uno implicando actividades formativas típicas necesarias para dichos proyectos. Estas actividades incluían el manejo de grúas torre, grúas móviles y martinetes, así como la colaboración entre los operarios y los trabajadores de la obra involucrados. Los indicadores evaluados abarcaban el reconocimiento de las operaciones, la identificación de problemas de seguridad, la prevención de dichos problemas, la colaboración entre operarios y trabajadores de la obra, y la mejora de los procesos operativos.

Discusión

Los resultados del estudio destacan claramente las ventajas de la plataforma en comparación con la formación de seguridad tradicional. Específicamente, la plataforma impacta positivamente en la capacidad de los alumnos para reconocer las operaciones de la planta y, por ende, aprender sobre la propia planta. Además, mejora la capacidad de los operarios para colaborar entre sí, identificar problemas de seguridad y operar la planta, fortaleciendo así las habilidades necesarias para su operación.

Se observó un impacto limitado en la prevención de problemas de seguridad, principalmente debido a la percepción de la mayoría de los operarios de que muchos de estos problemas están vinculados al comportamiento personal y la actitud del operario. Aunque la plataforma puede ayudar a identificar posibles problemas de seguridad, prevenirlos plenamente requiere el compromiso activo del operario. No obstante, la plataforma puede contribuir de manera significativa a anticipar problemas de seguridad al identificar operaciones incorrectas de manera proactiva.

Es relevante señalar que la plataforma muestra un rendimiento más exitoso en la formación relacionada con grúas torre en comparación con grúas móviles y martinetes. Las entrevistas realizadas a los operarios revelaron que esto se debe al mayor alcance de trabajo de las grúas

torre, que implica un mayor riesgo en la operación, ya que los operarios deben trabajar con una visión/control a larga distancia. La aplicación de la plataforma permite a los aprendices practicar virtualmente estas situaciones y familiarizarse con los posibles problemas, reduciendo así los riesgos asociados con la operación real en el lugar de trabajo.

Conclusiones

El PS es una herramienta de simulación y evaluación del rendimiento que permite a los operarios aprender a realizar un procedimiento específico, como el cambio de un inyector. El PS ofrece una secuencia de acciones detalladas y evalúa el rendimiento del operario en función de la precisión y el tiempo de ejecución.

El PS puede utilizarse para varios propósitos. En primer lugar, puede utilizarse para formar operarios nuevos o para actualizar las habilidades de los operarios experimentados. En segundo lugar, el PS puede utilizarse para evaluar el rendimiento de los operarios, que pueden utilizarse para mejorar el procedimiento oficial. El PS es una herramienta valiosa que puede ayudar a las empresas a mejorar la seguridad y eficiencia de sus procesos.

En este contexto, la indagación referente a la investigación de implementación de nuevas tecnologías, detallada en este artículo de revisión, propuso la utilización de tecnologías de juegos como una herramienta para mejorar la información en seguridad de los trabajadores que operan en instalaciones de construcción, con la expectativa de alcanzar un elevado nivel de desempeño en términos de seguridad. La estructura conceptual que guía la aplicación de la tecnología de juegos en la formación sobre seguridad y la prevención de accidentes.

Se comienzan describiendo los métodos de investigación, seguido de la exposición de la arquitectura y las funciones de una plataforma de formación en seguridad basada en tecnología de juegos, junto con su posible aporte a la seguridad. Se identifican las áreas de formación relacionadas con las operaciones en instalaciones de construcción. Para concluir, se utiliza un estudio de caso que ilustra un proceso de formación basado en la tecnología de juegos y se evalúa su impacto en el rendimiento de la formación

a través de las respuestas de los participantes.

Se procuró conocer una plataforma multiusuario basada en tecnología de juegos para facilitar la formación en seguridad en las operaciones de maquinaria de construcción. Se examinan las características de la plataforma y se destacan sus funciones. A continuación, se lleva a cabo un análisis de casos de estudio con el objetivo de evaluar el potencial de la plataforma como recurso de apoyo para la formación en seguridad de los operadores de instalaciones de construcción. El método de capacitación basado en tecnología de juegos proporciona un entorno virtual multiusuario fácil de usar que permite a los estudiantes explorar y estudiar diversas modalidades de operación de la planta. Al mismo tiempo, proporciona a los estudiantes un conocimiento operativo integral que les permite identificar posibles problemas de seguridad. La plataforma se caracteriza por su notable flexibilidad, lo que permite a los operadores ampliar fácilmente sus funciones según sus necesidades específicas. Su principal ventaja es la capacidad de estudiar y practicar el funcionamiento y los procesos de una instalación de construcción en un entorno virtual lo más cercano posible a las condiciones reales en el sitio. Una vez que los modelos 3D del sistema se cargan en el entorno virtual, los estudiantes pueden primero familiarizarse con las especificaciones y componentes utilizando la información contenida en los modelos 3D y luego practicar su funcionamiento utilizando los controles del juego. Si un estudiante realiza un movimiento incorrecto, como intentar levantar un componente excesivamente pesado con una grúa torre, la plataforma muestra inmediatamente un cuadro de advertencia o aviso en la pantalla. Esta interactividad permite a los estudiantes adquirir rápida y fácilmente los conocimientos que necesitan para gestionar la instalación de construcción respectiva. Además, posibles problemas de seguridad relacionados con la operación de la planta, tales como: Las colisiones entre el sistema y los edificios se detectan automáticamente y se advierte a los estudiantes. De esta manera, los estudiantes obtienen una valiosa experiencia en el uso seguro y eficiente de los simuladores presentados en este artículo de revisión.

Referencia Bibliografía

Aggarwal, R., Black, S. A., Hance, J. R., Darzi, A., & Cheshire, N. J. W. (2006). Virtual Reality Simulation Training can Improve Inexperienced Surgeons' Endovascular Skills. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 31(6), 588-593.

<https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2005.11.009>

Barling, J., Loughlin, C., & Kelloway, E. K. (2002). Desarrollo y prueba de un modelo que vincula el liderazgo transformacional específico de seguridad y la seguridad ocupacional. *The Journal of Applied Psychology*, 87(3), 488-496.

<https://doi.org/10.1037/0021-9010.87.3.488>

Broadribb, M. P. (2015). What have we really learned? Twenty five years after Piper Alpha. *Process Safety Progress*, 34(1), 16-23.

<https://doi.org/10.1002/prs.11691>

Chacón, M., & Lizeth, D. (2021). *Diseño de un laboratorio virtual para la gestión técnica de factores de riesgos físicos en seguridad industrial* [bachelorThesis, Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica].

<https://repositorio.uti.edu.ec//handle/123456789/2298>

Colombo, S., & Golzio, L. (2016). The Plant Simulator as viable means to prevent and manage risk through competencies management: Experiment results. *Safety Science*, 84, 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.11.021>

Dalgarno, B., & Lee, M. J. W. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments? *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 10-32.

<https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01038.x>

Giménez, P. (2011). *Simulador web de redes de sensores para la automatización industrial* [Tesis de Máster]. Universidad Politécnica de Valencia.

Guo, H., Li, H., Chan, G., & Skitmore, M. (2012). Using game technologies to improve the safety of construction plant operations. *Accident Analysis & Prevention*, 48, 204-213. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.06.002>

Horswill, M. S., Marrington, S. A., McCullough, C. M., Wood, J., Pachana, N. A., McWilliam, J., & Raikos, M. K. (2008). The Hazard Perception Ability of Older Drivers. *The Journals of Gerontology: Series B*, 63(4), P212- P218. <https://doi.org/10.1093/geronb/63.4.P212>

Kim, U. (2023). *Developing Effective Educational Program to Reduce Industrial Accidents: Empirical Analysis of Private Sector Employees, Safety Managers, and Government Officials*. 277-307.

Li, X., Yi, W., Chi, H.-L., Wang, X., & Chan,

A. P. C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150-162.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>

Manca, D., Colombo, S., & Nazir, S. (2013). *A Plant Simulator to Enhance the Process Safety of Industrial Operators*. 394-404.

<https://doi.org/10.2118/164992-MS>

Manca, D., Nazir, S., Lucernoni, F., & Colombo, S. (2012). Performance Indicators for the Assessment of Industrial Operators. En I. D. L. Bogle & M. Fairweather (Eds.), *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 30, pp. 1422-1426). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59520-1.50143-3>

Nazir, S., Colombo, S., & Manca, D. (2013). Testing and analyzing different training methods for industrial operators: An experimental approach. En A. Kraslawski & I. Turunen (Eds.), *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 32, pp. 667- 672). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0->

444-63234-0.50112-3

Nazir, S., Kluge, A., & Manca, D. (2014a). Automation in Process Industry: Cure or Curse? How can Training Improve Operator's Performance. *Computer Aided Chemical Engineering*, Volume 33, 889-894.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63456-6.50149-6>

Nazir, S., Kluge, A., & Manca, D. (2014b). *Can Immersive Virtual Environments make the difference in training industrial operators?* 251-265.

Nazir, S., & Manca, D. (2015). How a plant simulator can improve industrial safety. *Process Safety Progress*, 34(3), 237-243.

<https://doi.org/10.1002/prs.11714>

Sacks, R., Perlman, A., & Barak, R. (2013). Construction safety training using immersive virtual reality. *Construction Management and Economics*, 31(9), 1005-1017.

<https://doi.org/10.1080/01446193.2013.828844> Sümer, N. (2017). *Cognitive and Psychomotor Correlates of Hazard Perception Ability and Risky Driving*. 211-217.

<https://doi.org/10.17077/drivingassessment.1399>
