



# REVISTA MULTIDISCIPLINAR EPISTEMOLOGÍA DE LAS CIENCIAS

Volumen 2, Número 3  
Julio-Septiembre 2025

Edición Trimestral

CROSSREF PREFIX DOI: 10.71112

ISSN: 3061-7812, [www.omniscens.com](http://www.omniscens.com)

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias

Volumen 2, Número 3  
julio-septiembre 2025

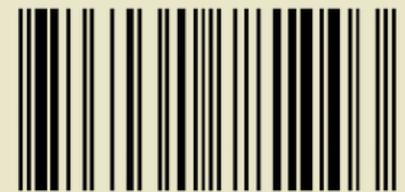
Publicación trimestral  
Hecho en México

La Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias acepta publicaciones de cualquier área del conocimiento, promoviendo una plataforma inclusiva para la discusión y análisis de los fundamentos epistemológicos en diversas disciplinas. La revista invita a investigadores y profesionales de campos como las ciencias naturales, sociales, humanísticas, tecnológicas y de la salud, entre otros, a contribuir con artículos originales, revisiones, estudios de caso y ensayos teóricos. Con su enfoque multidisciplinario, busca fomentar el diálogo y la reflexión sobre las metodologías, teorías y prácticas que sustentan el avance del conocimiento científico en todas las áreas.

Contacto principal: [admin@omniscens.com](mailto:admin@omniscens.com)

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación

Se autoriza la reproducción total o parcial del contenido de la publicación sin previa autorización de la Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

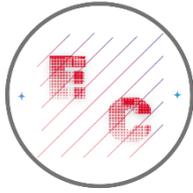


9773061781003

---

### Cintillo legal

Revista Multidisciplinar Epistemología de las Ciencias Vol. 2, Núm. 3, julio-septiembre 2025, es una publicación trimestral editada por el Dr. Moises Ake Uc, C. 51 #221 x 16B , Las Brisas, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97144 , Tel. 9993556027, Web: <https://www.omniscens.com>, [admin@omniscens.com](mailto:admin@omniscens.com), Editor responsable: Dr. Moises Ake Uc. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2024-121717181700-102, ISSN: 3061-7812, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR). Responsable de la última actualización de este número, Dr. Moises Ake Uc, fecha de última modificación, 1 julio 2025.



**Revista Multidisciplinar Epistemología de las  
Ciencias**

**Volumen 2, Número 3, 2025, julio-septiembre**

**DOI: <https://doi.org/10.71112/s2yt7f07>**

**GEMELOS DIGITALES ORIENTADOS AL SISTEMA DE GESTIÓN DE  
SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO EN COLOMBIA: REVISIÓN DE  
ALCANCE**

**DIGITAL TWINS FOR THE OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY  
MANAGEMENT SYSTEM IN COLOMBIA: SCOPE REVIEW**

**Carlos Andrés Guzmán Rojas**

**Samir Alexander Caicedo Tapias**

**Colombia**

## **Gemelos digitales orientados al sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en Colombia: revisión de alcance**

### **Digital twins for the occupational health and safety management system in Colombia: scope review**

Carlos Andrés Guzmán Rojas

[Carlos.guzman01@ustabuca.edu.co](mailto:Carlos.guzman01@ustabuca.edu.co)

<https://orcid.org/0000-0003-2837-228X>

Universidad del Tolima

Colombia

Samir Alexander Caicedo Tapias

[Caicedotapiasalexander1@gmail.com](mailto:Caicedotapiasalexander1@gmail.com)

<https://orcid.org/0009-0006-0740-7470>

Universidad del Tolima

Colombia

## **RESUMEN**

En el presente documento se examina el alcance de la integración de los gemelos digitales en los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SG-SST) en el contexto de las tecnologías de la industria 4.0. Se exploran las cualidades de los gemelos digitales para emular entornos industriales, la identificación de peligros como de riesgos, la capacitación en los sectores industriales. Se destacan la potencialidad de los gemelos digitales en optimizar la trazabilidad, la capacitación y la seguridad en áreas operativas en distintos sectores industriales. Se enfatiza los desafíos de implementación, incluyendo factores tecnológicos, económicos, financieros, talento humano, como los organizacionales, mencionando estrategias para una integración efectiva en los marcos dentro de los sistemas de gestión de las industrias.

**Palabras clave:** gemelos digitales; industria 4.0; seguridad industrial; SG-SST; capacitación; trazabilidad.

## ABSTRACT

This document examines the scope of integrating digital twins into occupational health and safety management systems (SG-SST) within the context of Industry 4.0 technologies. It explores the capabilities of digital twins to emulate industrial environments, identify hazards and risks, and support training in industrial sectors. The potential of digital twins to optimize traceability, training, and safety in operational areas across various industrial sectors is highlighted. The document emphasizes implementation challenges, including technological, economic, financial, human resource, and organizational factors, while outlining strategies for effective integration within management system frameworks in industries.

**Keywords:** digital twins; industry 4.0; industrial safety; SG-SST; training; traceability.

Recibido: 24 de abril 2025 | Aceptado: 28 de septiembre 2025

## INTRODUCCIÓN

La transformación digital impulsada por la Industria 4.0 ha revolucionado múltiples sectores industriales, integrando tecnologías avanzadas como Internet de las Cosas [IoT], la Inteligencia Artificial [IA] y el big data, entre otras, que permiten un vínculo dinámico entre los entornos físicos y digitales. En este marco, los gemelos digitales (Digital Twins, [DT]) se presentan como una herramienta crucial para la simulación, monitorización y análisis en tiempo real de procesos industriales, contribuyendo significativamente a la gestión de la (seguridad y salud en el trabajo [SST]) en Colombia. Su capacidad para emular ambientes laborales complejos y replicar situaciones críticas ofrece a las organizaciones una oportunidad única para identificar y evaluar riesgos de manera proactiva, optimizar recursos y diseñar entornos laborales seguros y controlados.

Esta investigación busca abordar una problemática clave: la dificultad que enfrentan muchas empresas para (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) que no solo cumplan con la normativa vigente, como el Decreto 1072 de 2015 en Colombia, sino que también contribuyan a la competitividad industrial mediante tecnologías

avanzadas. A través de un marco conceptual y metodológico, el estudio evalúa cómo los gemelos digitales pueden ser integrados en los (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), mejorando la capacitación y reentrenamiento de los trabajadores, así como la trazabilidad de los procesos en diferentes sectores industriales.

A nivel teórico, esta investigación contribuye a ampliar la literatura existente sobre las aplicaciones de los gemelos digitales en la (seguridad y salud en el trabajo [SST]), consolidando conocimientos y ofreciendo una base para futuras exploraciones en este ámbito. En términos prácticos, se enfoca en identificar las características técnicas, económicas y normativas necesarias para su implementación, considerando el uso de software de código abierto y licencias comerciales según las capacidades y madurez tecnológica de las organizaciones. Este análisis abarca sectores críticos como la minería, la manufactura y la construcción, donde el riesgo laboral es más pronunciado, demostrando el impacto transformador de los gemelos digitales en la gestión de SST en Colombia.

La relevancia de este estudio radica no solo en su potencial para mejorar las condiciones laborales y la prevención de riesgos, sino también en su capacidad para alinear a las empresas con estándares internacionales de seguridad y sostenibilidad. La adopción de gemelos digitales en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) promueve un entorno laboral adaptado a las exigencias modernas, fortaleciendo la competitividad organizacional y fomentando una cultura de seguridad que beneficia tanto a empleadores como a empleados.

## **METODOLOGÍA**

Se realizará una revisión de alcance mediante la búsqueda de información disponible, permitiendo una aproximación al tema, buscando aspectos esenciales para identificar la importancia de los (Digital Twins, [DT]) orientado hacia sistemas de gestión de las organizaciones, como participación en la (seguridad y salud en el trabajo [SST]) dentro del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) de las empresas, sin

discriminar el sector industrial al que pertenezca, contribuyendo a la trazabilidad de información, identificación de las variables, como del cumplimiento de la legislación de la (seguridad y salud en el trabajo [SST]) en Colombia para el desarrollo de las actividades laborales de las empresas.

En las tecnologías aplicadas a las industrias 4.0, la (seguridad y salud en el trabajo [SST]) no es la excepción, las innovaciones tecnológicas van dirigidas hacia los sistemas de gestión y de la seguridad en el trabajo (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), ya que se asocia a la (seguridad y salud en el trabajo [SST]) en Colombia y al (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) como una sección documental de obligatorio cumplimiento bajo diferentes legislaciones a nivel país, con lo anterior se implementan los sistemas de gestión en información o data, compilados por diferentes sectores industriales o áreas de trabajo para las empresas.

Los (Digital Twins, [DT]) han surgido como una solución tecnológica a nivel de software que permite simular entornos, como lo pueden ser los industriales y evaluar de manera dinámica los peligros y riesgos potenciales. Estas simulaciones virtuales no solo mejoran la identificación de riesgos o peligros de las organizaciones, sino que también permiten llevar a cabo entrenamientos, reentrenamientos o capacitaciones que optimizan la preparación de los trabajadores frente a escenarios de riesgo. A pesar de su potencial, la integración de los gemelos digitales en los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo sigue siendo un reto, debido a factores como la disponibilidad de software bajo licencia libre o de pago, la trazabilidad de la información y la resistencia de las organizaciones a adoptar nuevas tecnologías.

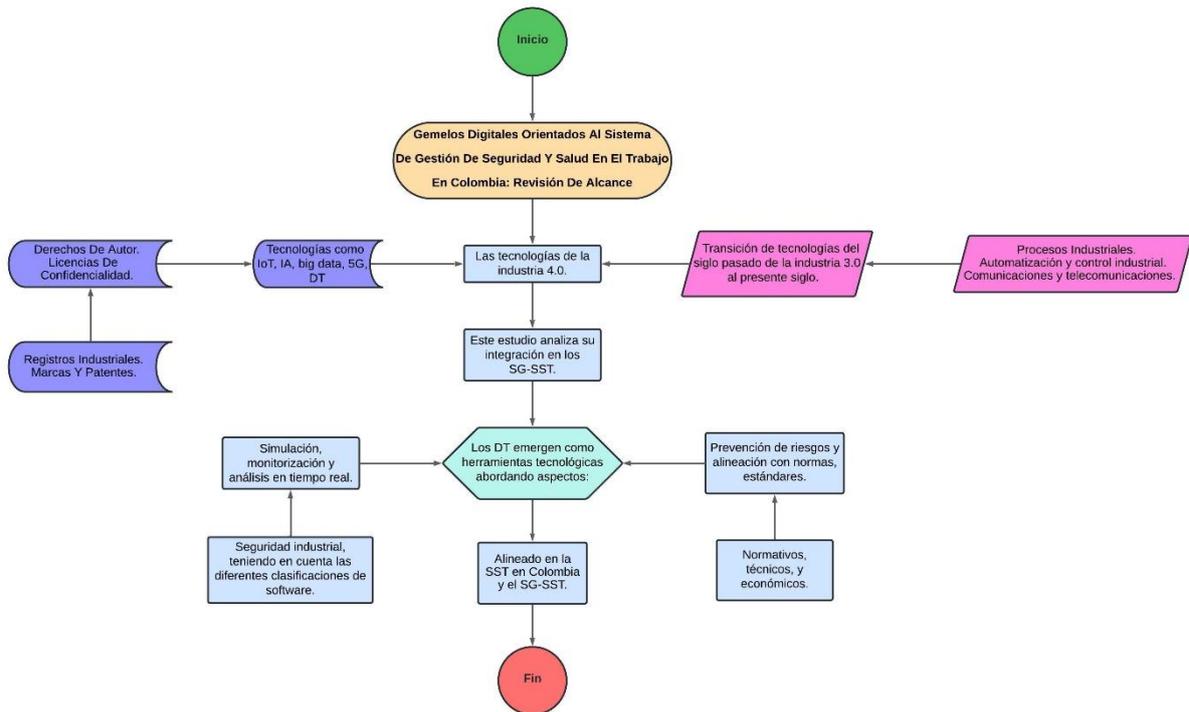
Se identifica la integración del (seguridad y salud en el trabajo [SST]) con las industrias 4.0, para mejorar los procesos de las organizaciones dentro de los (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), para que estos documentos no sean inertes y se conviertan en herramientas de uso adecuadas para los diferentes miembros de las organizaciones o realizar la toma de decisiones. Para la legislación colombiana el decreto 1072 de 2015 entrega herramientas legales de cumplimiento legal para la

(seguridad y salud en el trabajo [SST]), donde se introducen para las diferentes empresas y sectores industriales, sean públicas, privadas o mixtas. Todas las empresas sin distinción de tamaño o actividad económica. En particular, el artículo 2.2.4.6.8 exige la identificación de peligros, evaluación y valoración de riesgos, elementos clave para la integración de tecnologías como los gemelos digitales en la gestión de seguridad industrial. Asimismo, el artículo 2.2.4.6.12 establece que las empresas deben garantizar la capacitación y formación de los trabajadores en la (seguridad y salud en el trabajo [SST]), lo que refuerza la aplicabilidad de los gemelos digitales en entrenamientos y reentrenamientos.

De igual forma, el artículo 2.2.4.6.15 determina la necesidad de contar con medidas de prevención y control basadas en la evaluación de riesgos, mientras que el artículo 2.2.4.6.24 obliga a la documentación y trazabilidad del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), permitiendo que los gemelos digitales actúen como una herramienta clave para la gestión de datos y la optimización de procesos. En este contexto, el artículo 2.2.4.6.28 señala la importancia de la mejora continua dentro del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), principio alineado con las capacidades de análisis y simulación de los gemelos digitales como se describe en las figuras 1 y 2.

### **Figura 1**

*Metodología De Revisión Alcance Gemelos Digitales En El SG-SST En Colombia*

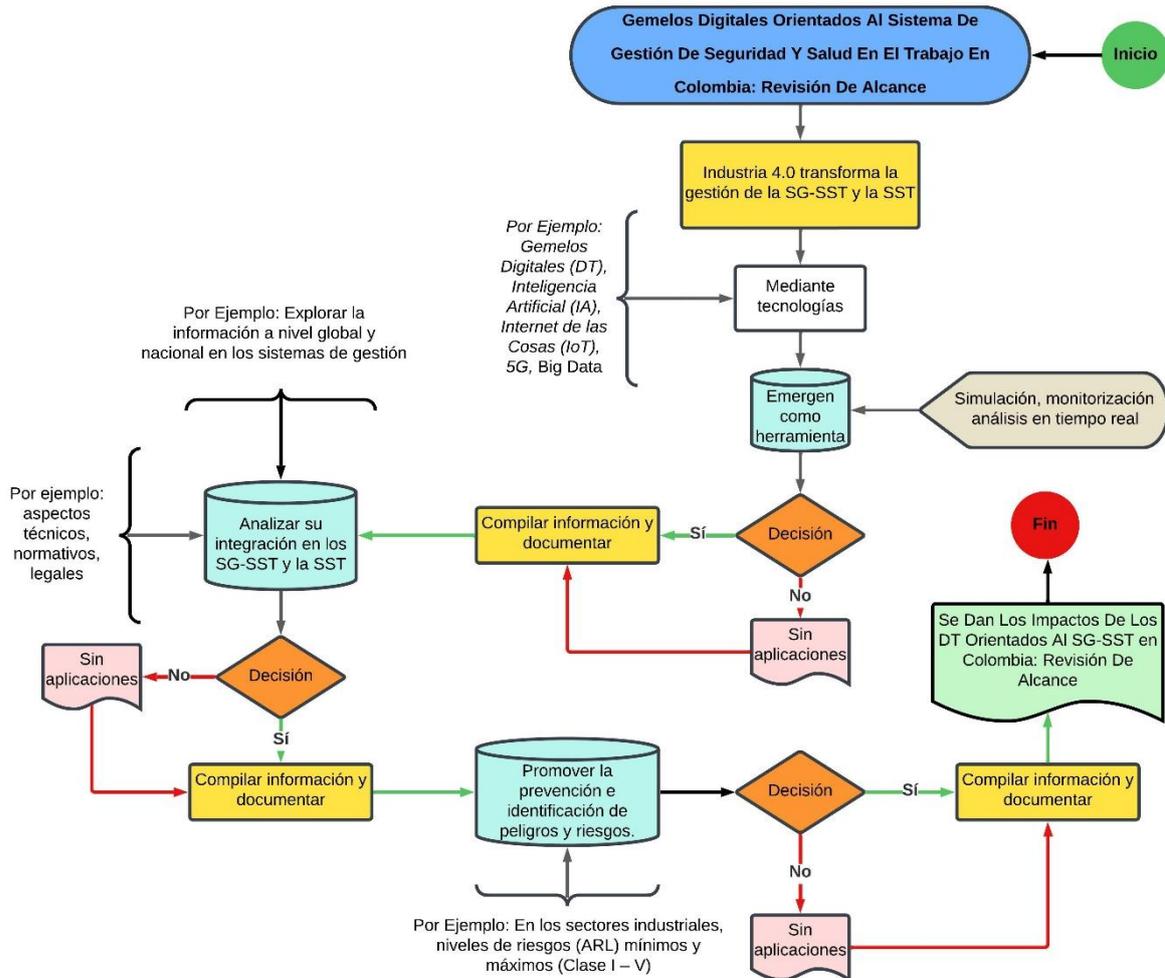


Nota: Elaboración propia de los autores

La articulación de estos requisitos normativos con las tecnologías emergentes de la Industria 4.0 no solo facilita el cumplimiento de la legislación vigente, sino que también permite optimizar la gestión del riesgo y la seguridad operacional en distintos sectores industriales. Esto permite integrar la (seguridad y salud en el trabajo [SST]) al (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) para las organizaciones lo que genera la sinergia entre estos sistemas a nivel legal y organizacional para las empresas.

## Figura 2

*Revisión De Alcance Gemelos Digitales En El SG-SST En Colombia*



Nota: Elaboración propia de los autores

Actualmente (Digital Twins, [DT]) cumplen una tarea interesante ya que, permite crear esa sinergia entre los ambientes de trabajos, en la identificación de los peligros y riesgos de los mismo, realizar inducciones o reinducciones, a los diferentes clientes internos o externo de las organizaciones. Permitiendo así identificar la seguridad operacional para el personal y una normalización de los mismo.

Así se integran a los sistemas de gestión de cada organización, para dar la antesala al (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) en cumplimiento de las normas que demanda la (seguridad y salud en el trabajo [SST]), donde los (Digital Twins, [DT]), entran para consolidar los procesos en los sistemas de gestión de las organizaciones, permitiendo incluir a los (Digital Twins, [DT]) a los sistemas de gestión en este caso para la

(seguridad y salud en el trabajo [SST]), herramienta para consolidar los estándares de gestión de las empresas independientemente del sector industrial al que pertenezca, ya que facilita la incorporación de procesos y trazabilidad de la información y mejora continua, para identificar las falencias y el nivel de trabajo.

Por lo tanto, es importante investigar e identificar las características clave de los gemelos digitales que pueden ser utilizados dentro del marco del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), en particular para las áreas de entrenamiento, reentrenamientos o capacitaciones industriales, con el objeto de poder identificar y mitigar peligros y riesgos potenciales de manera más efectiva.

Así, se permiten las empresas involucrar las tecnologías de las industrias 4.0 al cumplimiento normativo de (seguridad y salud en el trabajo [SST]) en Colombia dentro de los sistemas de gestión del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), con la implementación de los (Digital Twins, [DT]) en las organizaciones y sus áreas de trabajo, proporcionando a las organizaciones una ventaja competitiva al optimizar la trazabilidad de datos y procedimientos, facilitando la evaluación sistemática de estos y generando oportunidades de mejora en los procesos. Asimismo, contribuye a la reducción de incidentes y accidentes laborales, asegurando el cumplimiento normativo para auditorías forenses, la generación de reportes ante el Ministerio de Trabajo y demás órganos de control, además de fortalecer la articulación con las (Administradoras de Riesgos Laborales [ARL]) en Colombia y garantizar la alineación con los requisitos legales aplicables.

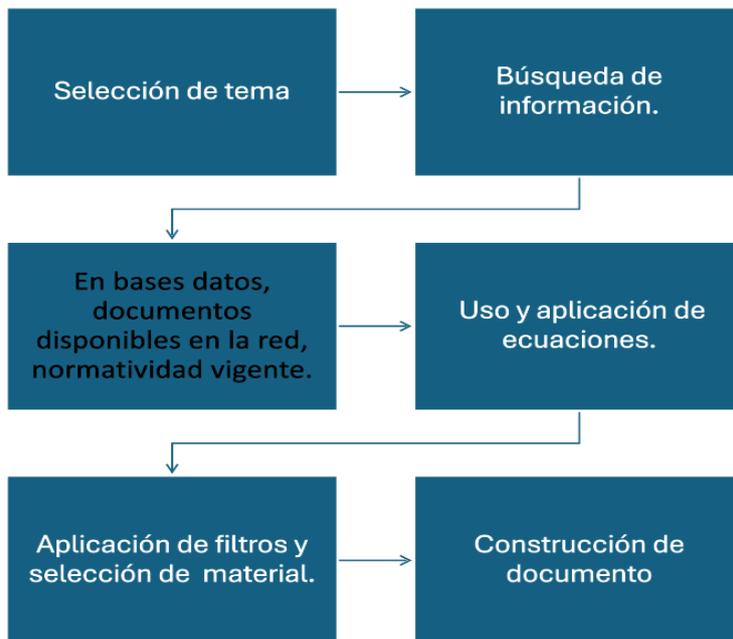
## RESULTADOS

Dentro de los artículos seleccionados se tuvo en cuenta, artículos con aplicación de (Digital Twins, [DT]) con aplicación de diferentes tecnologías en los últimos 10 años, su gran mayoría en español e inglés, que facilito alimentar y conocer cómo es su aplicación al sistema de (seguridad y salud en el trabajo [SST]), en sus diferentes estándares e integración con otros sistemas de gestión dando como resultados su participación en el SG-SST, manteniendo herramientas de diversas tecnologías, como las presentes en los últimos

y como se incorporan en las empresas y pueden coexistir con las legislaciones de la (seguridad y salud en el trabajo [SST]), de obligatorio cumplimiento por todas las organizaciones.

### Figura 3

#### *Método de Búsqueda*



Nota: Elaboración propia de los autores

De igual manera, conocer las tecnologías en torno a los (Digital Twins, [DT]), para los sistemas de gestión a nivel mundial según la literatura encontrada, tanto en inglés y español, sus usos según las licencias de la clasificación de los softwares, es decir de licencia gratuitas o de pago y sus potenciales usos o integraciones a los sistemas de gestión en las organizaciones y al sistema del (seguridad y salud en el trabajo [SST]).

### Tabla 1

*Fuentes de información de los gemelos digitales para el SG-SST en Colombia*

<b>Gemelos digitales orientados al SST en Colombia en el SG-SST fuentes de información</b>		
<b>Legales</b>	<b>Estándares Nacionales (Colombia)</b>	<b>Estándares internacionales</b>
Constitución política de la República de Colombia	GTC 34	OHSAS 18001:2007 (derogada)
Decreto 1072 DEL 2015	GTC 45/2012	origina el estándar ISO 45001:2018
Resolución 0312 de 2019		ISO 9001:2015
Ley 50 de 1990		ISO 45001:2018
Ley 2069 de 2020		ISO/IEC 30171-1
Decreto 1263 de 2022		ISO/IEC 27001:2013

Nota: Adaptado de Presidencia (1990), Presidente (2009), Presidente (2022), Congreso (2020), Ministerio de Trabajo (2019), Ministerio de Trabajo (2015), ISO (2018).

Se puede determinar que los (Digital Twins, [DT]) como tecnología facilita los procesos de trazabilidad para las organizaciones frente a la toma de decisiones y su inclusión al (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) cumpliendo con las exigencias de la SST demandadas por las legislaciones vigentes y de su compatibilidad con los diferentes sistemas de gestión, según el nivel de madurez y la necesidad de uso que puedan generar trazabilidad de los datos en los procesos, así como los estándares mínimos exigidos en la SST, para incorporar trazabilidad de los datos y de la conciencia situacional de los entornos trabajo.

## **DISCUSIÓN**

Dentro del desarrollo tecnológico presente en los diferentes sectores industriales, profesiones en sus diversas aéreas de especialización dentro de ellas las del sistema de gestión y para el presente caso el sistema de seguridad y salud en el trabajo, la

transformación digital y la Industria 4.0, los (Digital Twins, [DT]) emergen como herramientas innovadoras para el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]). Estas tecnologías permiten emular entornos industriales, identificar riesgos de manera proactiva y mejorar las estrategias de capacitación de los empleados. Este desarrollo aborda el objetivo general de determinar las características clave de los gemelos digitales dentro del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), así como los objetivos específicos de identificar clasificaciones de software, establecer tecnologías relacionadas y explorar cómo estas herramientas facilitan la identificación y evaluación de peligros y riesgos.

En análisis de la literatura científica, incluida en la bibliografía, consultando artículos, normas técnicas y estándares internacionales, como por ejemplo ISO 45001. Este proceso permitió identificar los fundamentos conceptuales de los (Digital Twins, [DT]) y su relación con el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]). Las fuentes consultadas se seleccionaron bajo criterios de relevancia, actualidad como de la pertinencia a la temática expuesta.

Detallando el desarrollo por cada una de las etapas, propuestas en el presente documento, frente al cumplimiento y alcance de los objetivos, mostrando sus evidencias dentro del marco bibliográfico propuestos en materia de (seguridad y salud en el trabajo [SST]), sistemas de gestión, seguridad industrial, como del SG-SST, al igual que los sistemas de gestión que integren a las industrias, anexos y explicando el alcance de cada una de ellas dentro del marco desarrollo de los (Digital Twins, [DT]) parte de las tecnologías que integran las industriales 4.0.

Identificar gemelos digitales según licencias. Se analizaron las tablas 1, 2, 3, 4 y 5, donde se clasifican los gemelos digitales por tipo de licencia y compatibilidad. Como se puede evidenciar en las tablas 2 a 5.

Establecer tecnologías afines. Las tablas 6, 7 y 8 identifican las tecnologías relacionadas y fabricantes de (Digital Twins, [DT]). Evidencia: Tablas 7 y 8. Explorar la

identificación de peligros y riesgos. La tabla 9 y el 10 analizan riesgos por sector industrial y su relación con los DT. Evidencia: Tablas 9 a la 12.

Con una integración del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) en Colombia dentro de la arista de la seguridad industrial, como se puede apreciar en las tablas (7 a 18), dentro las tablas de los anexos 1 al 12 se plasma la aplicabilidad de los (Digital Twins, [DT]) en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) en Colombia, según tipo de licencia, tecnologías, fabricantes, sectores industriales y niveles de riesgo:

Tablas 7 a 12: Detallan las características de los (Digital Twins, [DT]) y su aplicación en la seguridad industrial. Tablas 7 a la 10: Describen fabricantes, países de origen, como el producto interno bruto [PIB]), evidenciando la adopción internacional. Tablas 11 y 12: Relacionan el nivel de riesgo industrial con la aplicación de (Digital Twins, [DT]) y su impacto en la trazabilidad de la seguridad.

Se evaluaron las tecnologías complementarias a los (Digital Twins, [DT]), como (Internet de las Cosas [IoT]), (Inteligencia Artificial [IA]) y Big Data, debido a su impacto en la trazabilidad y monitoreo de riesgos. Las tablas 7 y 8 permitieron identificar fabricantes y su relación con el desarrollo industrial global, destacando su influencia en la innovación de (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) en Colombia.

Exponiendo el análisis de riesgos basado en la Tabla 9 (Análisis de elementos teóricos y prácticos) y la Tabla 11 (Nivel de Riesgo en Colombia con Adaptación de los DT en los Sectores industriales). Esta etapa permitió evidenciar cómo los (Digital Twins, [DT]) pueden contribuir a la identificación y mitigación de riesgos en sectores de alto riesgo, mediante simulaciones y monitoreo predictivo. Examinando la situación nacional respecto a la adopción de (Digital Twins, [DT]), destacando que, según la Tabla 7, no existen fabricantes locales relevantes. Esta carencia evidencia la oportunidad de fomentar la investigación y desarrollo de (Digital Twins, [DT]) en el país al igual que la no evidencia de regulación en los marcos normativos legales nacionales, que para este caso es Colombia.

Los gemelos digitales se dividen en dos categorías principales basadas en el tipo de licencia del software:

Características generales de software de licencia libre:

Bajo costo inicial, alta capacitación al personal involucrado en los procesos.

Limitaciones en servicio técnico, debido que este se encuentra median uso de foros de forma autónoma por parte de los usuarios. Accesibilidad para todo tipo y tamaño empresas o proyectos piloto. Integración con otros sistemas empresariales.

Características generales de software de licencia:

Se tienen altos niveles de personalización y soporte técnico. Integración con otros sistemas empresariales. Elevado costo asociado a suscripción o compra. Al igual que el software libre se tiene accesibilidad para todo tipo y tamaño empresas o proyectos piloto.

Estos sistemas facilitan la integración con (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) mediante la modelación de procesos y la generación de reportes automatizados para cumplir con las normativas locales, como el Decreto 1072 de 2015 en Colombia, al igual que la integración con otros sistemas de gestión, como de su adaptación propia y trazabilidad al (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), con una proyección en los entrenamientos, reentrenamientos o capacitaciones al personal independientemente de los cargos, permitiendo la participación en la seguridad industrial sin importar el nivel de riesgo.

La efectividad de los gemelos digitales está directamente vinculada a varias tecnologías complementarias. El (Internet de las Cosas [IoT]) permite integrar sensores en tiempo real para recopilar datos de los entornos físicos, como el monitoreo de condiciones ambientales en plantas industriales. Big Data y la analítica predictiva facilitan el procesamiento de grandes volúmenes de datos generados por los gemelos digitales, permitiendo identificar patrones de fallos repetitivos.

La (Inteligencia Artificial [IA]) optimiza modelos predictivos para la identificación y mitigación de riesgos, automatizando el análisis de peligros potenciales en sistemas complejos. Finalmente, la inmersión en una realidad en un ambiente de software, crean

entornos simulados para la capacitación segura de los empleados, como entrenamientos en maniobras de evacuación en escenarios peligrosos como de emergencia, para los lugares de trabajo, según estos sean programados.

Los (Digital Twins, [DT]) permiten la identificación y evaluación de riesgos a través de estrategias innovadoras. Una de estas estrategias es la simulación de escenarios peligrosos, donde se representan virtualmente condiciones extremas para analizar el impacto en los sistemas operativos, como la simulación de incendios en plantas químicas. También se destaca la evaluación continua de condiciones operativas mediante el monitoreo constante de indicadores clave de seguridad (KPI), como los niveles de vibración en equipos mecánicos para prevenir fallos. Además, se implementan programas educativos utilizando simulaciones precisas para la capacitación, como entrenamientos y reentrenamiento en entornos controlados, como el entrenamiento de operadores en el manejo seguro de maquinaria o los procesos industriales.

La integración de gemelos digitales en el marco del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) representa un avance significativo en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo. A través del cumplimiento de los objetivos planteados, se destaca la capacidad de estas tecnologías para transformar los procesos industriales, promoviendo la eficiencia operativa y la prevención de riesgos. La implementación de gemelos digitales no solo mejora las condiciones laborales, sino que también posiciona a las organizaciones en un nivel competitivo global, alineado con los estándares de la Industria 4.0.

Entregando una directrices para integrarlas a los diferentes sistemas de gestión existentes en las industrias, para dar cumplir con los requisitos de la (seguridad y salud en el trabajo [SST]) en Colombia, como de la sinergia al (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), de las organizaciones, con ello se recibe mayor competitividad, ya que como se menciona a lo largo del documento y se ven en los anexo, son muchos países interesados en estas tecnologías para sus implementaciones, sin

importar el área de trabajo, el sector industrial o los niveles de riesgos que sean involucrados.

Finalmente a pesar que es una tecnología especializada que demanda alta capacitación al personal involucrado, compromiso a las diferentes formaciones, como se menciona por los autores (Somme M, et ál., 2018), los costos no son una limitante, ya que existen muchas alternativas en licencia de uso libre, y licencias libres como de pagos, son escalables y adaptables a las necesidades propias de los interesados, permitiendo tener empresas de clase mundial, con una identificación de sus falencias, como fortalecer sus procesamientos.

Esta metodología permitió construir una visión integral de cómo los (Digital Twins, [DT]) impactan la (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]). Entregando el análisis comparativo de los anexos, identificando cómo cada uno contribuye al cumplimiento de los objetivos, con el siguiente resumen dentro de las tablas:

Tablas 2 a la 5: Enfocados en la identificación de licencias y compatibilidades.

Tablas 6 a la 8: Relacionados con fabricantes y tecnologías complementarias.

Tablas 9 a la 11: Dirigidos a la identificación de riesgos y su evaluación.

Tablas 12: Conecta y resume el impacto de los (Digital Twins, [DT]) en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]).

Ampliación del análisis de las tablas de anexos.

La tecnología de (Digital Twins, [DT]) permite una integración efectiva en los (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) mediante sistemas de trazabilidad que proporcionan un registro detallado de los riesgos y peligros en el entorno laboral.

En el desarrollo de este estudio se estructura a partir del análisis de los anexos, evidenciando cómo cada grupo contribuye al cumplimiento de los objetivos expuestos; centrados en la identificación de licencias y compatibilidades de (Digital Twins, [DT]), fundamentales para abordar el primer objetivo sobre la clasificación de tecnologías, en mención enfocada en fabricantes y tecnologías complementarias, aportando mediante el

análisis. Dirigidos al análisis de riesgos, satisfaciendo el explorar la capacidad de los (Digital Twins, [DT]) para la identificación y evaluación de peligros, como una síntesis que conecta y resume el impacto de los (Digital Twins, [DT]) en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), integrando los hallazgos de los anexos anteriores.

Tabla 1: Matriz de Características de Gemelos Digitales. Esta tabla clasifica los (Digital Twins, [DT]) según su compatibilidad con la seguridad industrial y su utilidad para entrenamientos. Resalta cómo los (Digital Twins, [DT]) con licencia libre son accesibles para capacitaciones, mientras que los de pago ofrecen mayor integración con sistemas industriales.

Tabla 2: Matriz de Gemelos Digitales según Características (a): Presenta ejemplos específicos de (Digital Twins, [DT]) como, por ejemplo, GE Predix y Siemens MindSphere, evidenciando su uso en la simulación de procesos industriales y entrenamientos.

Tabla 3: Matriz de Características Generales (Licencias): Describe las diferencias entre licencias libres, de pago y por suscripción, destacando el impacto de estas en la trazabilidad del SG-SST.

Tabla 4: Especialidades Industriales de Aplicación: Asocia cada (Digital Twins, [DT]) con sectores específicos como minería, petroquímica y energía, evidenciando su versatilidad y aplicación en entornos de alto riesgo.

Tabla 5: Clasificación de Licencias de Gemelos Digitales: Expone las características técnicas de licencias de pago, suscripción y libres, destacando su relación con la protección de datos y compatibilidad tecnológica.

Tabla 6: Compatibilidad y Usos en (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) en Colombia: Analiza la capacidad de los (Digital Twins, [DT]) para realizar entrenamientos, identificar peligros y riesgos, destacando su potencial para auditorías y simulaciones, sin mencionar la especificidad de estas, ya que estas dependen de las necesidades de los interesados como de la aplicación.

Tabla 7: Análisis Territorial: Revela la concentración de fabricantes en países del G8, subrayando la ausencia de producción nacional y la oportunidad de fomentar la innovación local.

Tabla 8: Fabricantes de (Digital Twins, [DT]) y Países de Origen: Relaciona fabricantes líderes como Siemens y IBM con su país de origen, destacando la relevancia de alianzas internacionales para la transferencia tecnológica.

Tabla 9: Elementos de Análisis de (Digital Twins, [DT]) en (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) en Colombia: Divide el análisis en teórico y práctico, resaltando el papel del aprendizaje automático y el análisis de grandes volúmenes de datos en la prevención de riesgos.

Tabla 10: El (Producto interno bruto [PIB]) de Países Fabricantes: Vincula el (producto interno bruto [PIB]) de los principales países fabricantes de (Digital Twins, [DT]) con su capacidad de innovación, mostrando la influencia de la inversión económica en el desarrollo tecnológico.

Tabla 11: Nivel de Riesgo por Sector Industrial Clasifica los sectores industriales según su nivel de riesgo (Clase V), evidenciando la importancia de implementar DT en entornos de alta peligrosidad.

Tabla 12 Síntesis del Impacto de los DT en SG-SST Realiza un análisis integral de los anexos anteriores, demostrando cómo la implementación de (Digital Twins, [DT]) fortalece la trazabilidad y seguridad en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) en Colombia.

**Tabla 2***Matriz Características Gemelos Digitales en el SG-SST en Colombia*

Gemelo Digital (a)	Especialidad Industria de Aplicación (b)	Tipo de Licencia (c)	Compatibilidad con Seguridad Industrial (d)	Utilidad para Entrenamientos o Reentrenamientos (e)	Utilidad para identificar peligros y riesgos (f)
1	1, 2, 3	2, 3	Sí	Sí	Sí
2	1, 3, 6	2, 3	Sí	Sí	Sí
3	2, 4	2, 3	Sí	Sí	Sí
4	2, 4, 6	1, 3	Sí	Sí	Sí
5	1, 2	1, 3	Sí	Sí	Sí
6	2, 3, 5	1, 3	Sí	Sí	Sí
7	2, 3, 4	1, 3	Sí	Sí	Sí
8	1, 2	1, 3	Sí	Sí	Sí
9	1, 4	2, 3	Sí	Sí	Sí
10	2, 3, 5	1, 3	Sí	Sí	Sí
11	1, 3	1, 3	Sí	Sí	Sí
12	4, 2	2, 3	Sí	Sí	Sí
13	2, 3, 4	1, 3	Sí	Sí	Sí
14	2, 5	1, 3	Sí	Sí	Sí
15	2, 4, 5	2, 3	Sí	Sí	Sí

Nota: Elaboración propia de los autores

**Tabla 3***Matriz Gemelos Digitales en el SG-SST en Colombia Característica (a)*

Gemelo Digital (a)					
1	GE Predix	6	Dassault Systems 3DEXPERIE	11	Bentley Systems iTwin

Gemelo Digital (a)					
NCE					
2	Siemens MindSphere	7	AVEVA	12	Honeywell Forge
3	PTC ThingWorx	8	SAP Leonardo	13	Emerson Plantweb
4	IBM Maximo	9	Azure Digital Twins	14	Hitachi Vantara Lumada
5	Ansys Twin Builder	10	Autodesk Forge	15	C3.ai

Nota: Adaptado de Tao, F., et ál., (2018), Sommer, M., et ál., (2018), Chitram, L., et ál., (2009), Davenport, T. H., & Kirby, J, (2016), Dong, Z., et ál., (2023), W. Chen, et ál., (2022), Nayana & Goutam (2022), Sri, et ál., (2023), Gustavo & Luis (2021), Zapata, et ál., (2021), Andrango & Arroyo (2022), Corrales, et ál., (2022), Orellana-Daube (2020), Arriagada-Benítez (2020), Jing, et ál., (2022), Corrales (2022), Jing Wang et ál., (2022), Orive, D. ál., (2021), Pérez, M., et ál., (2021), Ramírez Pérez, J. F., et ál., (2021), Segarra Jaime, et ál., (2020), Omidvar, M., et ál., (2022), Kuok Ho (2021)

**Tabla 4**

*Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST en Colombia Característica (b)*

No.	Especialidad Industria de Aplicación (b)
1	Aeronáutica
2	Minero Energético
3	Naval
4	Petróleo
5	Eléctrico
6	Químico

No.	Especialidad Industria de Aplicación (b)
	Los gemelos digitales mencionados son útiles para todos los sectores de la industria, pero se menciona su especialidad de aplicación.

Nota : Adaptado de Tao, F., et ál., (2018), Sommer, M., et ál., (2018), Chitram, L., et ál., (2009), Davenport, T. H., & Kirby, J, (2016), Dong, Z., et ál., (2023), W. Chen, et ál., (2022), Nayana & Goutam (2022), Sri, et ál., (2023), Gustavo & Luis (2021), Zapata, et ál., (2021), Andrango & Arroyo (2022), Corrales, et ál., (2022), Orellana-Daube (2020), Arriagada-Benítez (2020), Jing, et ál., (2022), Corrales (2022), Jing Wang et ál., (2022), Orive, D. ál., (2021), Pérez, M., et ál., (2021), Ramírez Pérez, J. F., et ál., (2021), Segarra Jaime, et ál., (2020), Omidvar, M., et ál., (2022), Kuok Ho (2021)

### Tabla 5

*Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST en Colombia Característica (c)*

(c) Licencia
(1) De pago, es un valor que cobra la empresa dueña de la licencia por una única vez, con actualizaciones puntuales, y cada vez que existe una actualización mayor se debe realizar un pago por una nueva actualización.
(2) De suscripción, son valores se existen en periodos generalmente mensuales, semestrales, anuales, y se tiene derechos a todas las actualizaciones ya sean menores o mayores, durante el tiempo pactado de suscripción
(3) Libre, limitan las características de los gemelos digitales, pueden ser usadas en la parte académica, de capacitaciones, o de trabajo según lo demanden los dueños de las licencias del programa.

Nota : Adaptado de Tao, F., et ál., (2018), Sommer, M., et ál., (2018), Chitram, L., et ál., (2009), Davenport, T. H., & Kirby, J, (2016), Dong, Z., et ál., (2023), W. Chen, et ál., (2022), Nayana & Goutam (2022), Sri, et ál., (2023), Gustavo & Luis (2021), Zapata, et ál., (2021), Andrango & Arroyo (2022), Corrales, et ál., (2022), Orellana-Daube (2020), Arriagada-

Benítez (2020), Jing, et ál., (2022), Corrales (2022), Jing Wang et ál., (2022), Orive, D. ál., (2021), Pérez, M., et ál., (2021), Ramírez Pérez, J. F., et ál., (2021), Segarra Jaime, et ál., (2020), Omidvar, M., et ál., (2022), Kuok Ho (2021)

**Tabla 6**

*Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST en Colombia Característica (d, e, f)*

<b>Compatibilidad con Seguridad Industrial (d)</b>	<b>Utilidad para Entrenamientos o Reentrenamientos (e)</b>	<b>Utilidad para identificar peligros y riesgos (f)</b>
--	--	---

Debido que a la fecha de realización del documento no existe implementación de los gemelos digitales a nivel de compatibilidad con seguridad industrial, utilidad para entrenamientos, reentrenamientos y/o utilidad para identificar peligros y riesgos, estos si se pueden adaptar a lo anterior mencionado con la programación y desarrollo adecuado para la realización de estas actividades.

Nota: Elaboración propia de los autores.

**Tabla 7**

*Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST en Colombia Característica (d, e, f)*

<b>Análisis Territorial</b>	
<b>Nacional</b>	<b>Internacional</b>
Sin existencia de datos a nivel Colombia, los fabricantes o dueños de las licencias de los DT son generalmente internacionales.	Los fabricantes o dueños de las licencias de los DT son generalmente internacionales, entre ellos están, Estados Unidos, Alemania, Francia, Reino Unido, Japón, como principales exponentes del sector.

Nota: Elaboración propia de los autores.

**Tabla 8**

*Fabricantes DT y países de origen DT*

Origen Análisis Territorial								
<i>DT</i>	<i>País</i>	<i>Fabrica</i>	<i>DT</i>	<i>País</i>	<i>Fabrica</i>	<i>DT</i>	<i>País</i>	<i>Fabrica</i>
	<i>Origen</i>	<i>nte</i>		<i>Origen</i>	<i>nte</i>		<i>Origen</i>	<i>nte</i>
1	Estados Unidos	General Electric	6	Francia	Dassault Systèmes	11	Estados Unidos	Bentley Systems
2	Alemania	Siemens	7	Reino Unido	AVEVA Group	12	Estados Unidos	Honeywell
3	Estados Unidos	PTC Inc	8	Alemania	SAP SE	13	Estados Unidos	Emerson Electric Co
4	Estados Unidos	IBM	9	Estados Unidos	Microsoft	14	Japón	Hitachi Vantara
5	Estados Unidos	Ansys Inc	10	Estados Unidos	Autodesk Inc	15	Estados Unidos	C3.ai Inc

Nota : Adaptado de Tao, F., et ál., (2018), Sommer, M., et ál., (2018), Chitram, L., et ál., (2009), Davenport, T. H., & Kirby, J, (2016), Dong, Z., et ál., (2023), W. Chen, et ál., (2022), Nayana & Goutam (2022), Sri, et ál., (2023), Gustavo & Luis (2021), Zapata, et ál., (2021), Andrango & Arroyo (2022), Corrales, et ál., (2022), Orellana-Daube (2020), Arriagada-Benítez (2020), Jing, et ál., (2022), Corrales (2022), Jing Wang et ál., (2022), Orive, D. ál., (2021), Pérez, M., et ál., (2021), Ramírez Pérez, J. F., et ál., (2021), Segarra Jaime, et ál., (2020), Omidvar, M., et ál., (2022), Kuok Ho (2021)

**Tabla 9**

*Anexo 9, Elementos de análisis de los DT en la SG-SST en Colombia*

<b>Elementos de análisis de los DT en la SG-SST en Colombia</b>	
<i>Elementos teóricos</i>	<i>Elementos prácticos</i>
Fuentes de Información.	Implementación de DT en el entorno de
Teoría del Aprendizaje Automático.	aprendizaje autónomo mediante la
Teoría de Big Data y Analítica.	incorporación de lenguaje máquina en los
Teoría de Sistemas Ciberfísicos.	entornos industriales.
Teoría de Modelado de Sistemas.	Compilación de los grandes volúmenes de
Teorías del desarrollo de DT.	información mediante el cloud computing.
	Simulación de marcos de análisis de
	criticidad, disponibilidad mantenimiento,
	programación, control industrial, entre otros.

Los DT se implemente o hacen parte en otras áreas industriales pero su uso o implementación al SST como a los SG-SST, no están estandarizados ni legislados, pero permiten una trastrabillad de los procesos para las industrias, para identificar los diferentes peligros, riegos como de los entrenamientos al personal, como de la incorporación de los demás departamento pertenecientes a los sistemas de gestión, lo que permitirá a la competitividad, como de la integración de diversos departamentos pertenecientes a las organizaciones, que permitan incorporar la verificación de los datos incorporados, entregados y los resultantes de los DT en el SG-SST.

Nota: Elaboración propia de los autores.

**Tabla 10**

*PIB países de origen DT datos aproximados en euros 2023 - 2024*

<b>País Fabricante DT</b>	<b>PIB Anual</b>	<b>Pib Per Capita</b>
Estados Unidos	± 25.000.000 €	± 76.000 €
Alemania	± 4.000.000 €	± 40.000 €
Francia	± 2.000.000 €	± 40.000 €

País Fabricante DT	PIB Anual	Pib Per Capita
Reino Unido	± 3.000.000 €	± 40.000 €
Japón	± 3.000.000 €	± 30.000 €

Nota : Adaptado de Riascos-Erao & Aguilera-Castro, (2024) como de Stefanini, R., & Vignali, G. (2023)

**Tabla 11**

*Nivel de Riesgo en Colombia con Adaptación de los DT en los Sectores industriales*

Sector Industrial	Colombia Niveles de Riesgo ARL
Aeronáutica	Clase V
Minero Energético	Clase V
Naval	Clase V
Petróleo	Clase V
Eléctrico	Clase V
Químico	Clase V

Los DT, son de implementación en las actividades industriales de alto riesgo, esto no significa que en los demás riesgos o sectores no sean de utilidad, pero evidencia su implementación en las tareas de utilidad para entrenamientos, reentrenamientos y/o utilidad para identificar peligros y riesgos, si no que por el contrario pueden ser adaptados o escalables. Para el caso de Colombia los entes que evalúan verifican, acompañan estos riesgos son las ARL autorizadas por los entes gubernamentales.

Nota: Elaboración propia de los autores.

**Tabla 12**

*Análisis tablas Adaptación de los DT en el SG-SST en Colombia*

#### **Análisis anexos del 1 al 11 Adaptación de los DT en el SG-SST**

Las características de los DT orientados al SG-SST, tiene como particularidad que estos son diseñados desde el área de ingeniería pero su adaptación a la SST en Colombia como del SG-SST, son de importancia en los sectores industriales de alto riesgo, como se

---

### Análisis anexos del 1 al 11 Adaptación de los DT en el SG-SST

---

evidencia en las tablas anexo del 1 al 11, y la importancia que estos aporta a la seguridad de las personas, uno de los pilares que busca la legislación en SST, y el bienestar laboral, con la mitigación, de incidentes, accidentes como de los siniestros de trabajo, en las organizaciones. Esto permite que las personas puedan realizar entrenamientos y reentrenamientos, identificando los peligros y riesgos que puedan llegar a tener o que se involucren en los procesos laborales de las áreas de trabajo.

---

Dentro el desarrollo del presente documento se evidencia que los DT, tienen diferentes orígenes a nivel de países como de sectores industriales, lo que involucra de forma inherente procesos de patentes, lo que arroja la clasificación de los DT, según el tipo de licencia como se puede apreciar en la tabla del anexo 4,5,7, esto permite la integración tener opciones según lo presupuestos de la(s) industria que desee incorporar los DT en sus procesos de SG-SST, para realizar entrenamientos y reentrenamientos, identificando los peligros y riesgos.

---

En Colombia a fecha de realización del presente documento no cuenta con un fabricante representativos en el área de DT, pero esto no impide que puedan ser incorporados a las empresas del país, ya que estos orígenes del software o plataformas de desarrollo de los DT, como se menciona en la en la tabla del anexo 5, son digitales los cuales pueden ser cargados, compilados a los procesos de las organizaciones, de este modo se evidencia que los sectores de mayor índice de accidentalidad, son los que más nivel de desarrollo poseen a nivel tecnológico para incorporar en los procesos, en materia de seguridad industrial, lo que permitirá incorporar la trazabilidad de estos mediante los departamentos de la empresa y de esta modo poder involucrar a los colaboradores de las diversas áreas de trabajo

---

---

### Análisis anexos del 1 al 11 Adaptación de los DT en el SG-SST

---

Una de las aplicaciones de los DT, es que estos permiten la identificación, como de la evaluación de peligros o riesgos, generando la trazabilidad de la seguridad industrial en el SG-SST dentro de las organizaciones, sin importar el área de trabajo o el sector industrial que quiera utilizar los DT en reentrenamientos materia de SST en Colombia como del SG-SST; los sectores industriales de mayor nivel de riesgo, tabla del anexo 10, son los sectores que mayor inversión a nivel de talento humano como financiero, están teniendo debido que los principales países de origen de los software o de las plataformas de DT, son de países miembros del G8, o de países de mayor PIB como de desarrollo económico, permite la exploración de cómo los gemelos digitales participan en la identificación como de la evaluación de peligros o riesgos para la trazabilidad de la seguridad industrial del SG-SST.

---

Los DT son de las nuevas tecnologías de las industria 4.0, son tecnologías que se pueden adaptar al SG-SST de la industria que desee mejorar sus procesos, debido que como se ve en las tablas 4, 10, 11, los sectores industriales de mayor riesgos son de países con una economía consolidada en el desarrollo tecnológico e industrial, donde estas áreas de trabajo Colombia también las posee, lo que en paralelo puede adaptarse o ser escalable según las necesidades de los interesados, permitiendo una involucrar mayor seguridad del personal involucrada en los procesos industriales, mediante la capacitación del personal en los entrenamiento como de los reentrenamientos.

---

Diferentes DT, permite la estandarización de los procesos involucrados en la seguridad industrial ligados al SG-SST, de la industria que desee realizar los entrenamientos, reentrenamientos, debido que estos generan caracterizaciones en las etapas, se pueden evidenciar las fechas, el personal involucrado, y demás datos que generen datos en búsqueda de la mejora continua, debido que con ellos se pueden identificar y compilar los peligros como los riesgos, latentes en las áreas de trabajo de la organización, pueden procesar o almacenar grades volúmenes de variables dependiente como independientes

---

---

## Análisis anexos del 1 al 11 Adaptación de los DT en el SG-SST

---

de los procesos, dadas la necesidades de la industria, y al mismo tiempo son escalables a lo largo del ciclo de vida de las operaciones de la industria.

---

Nota: Elaboración propia de los autores.

### CONCLUSIONES

Se identificó y clasificó a los (Digital Twins, [DT]) según el tipo de licencia. Esta clasificación permitió diferenciar su aplicabilidad en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) en Colombia, destacando su compatibilidad para entrenamientos, simulaciones y gestión de riesgos.

Se evidenció su influencia en la trazabilidad y el monitoreo de peligros o riesgos industriales. Logrando establecer las tecnologías complementarias clave, como (Internet de las Cosas [IoT]), (Inteligencia Artificial [IA]) y Big Data, junto con los algunos de fabricantes de (Digital Twins, [DT]) expuestos en los anexos.

Se mostró la capacidad de los (Digital Twins, [DT]) para identificar y evaluar riesgos mediante su compatibilidad en simulaciones y monitoreo en sectores de alto riesgo. Esta evaluación destacó su impacto en la seguridad operativa y su implementación en la reducción de accidentes, evidenciando.

Se determinó cómo los (Digital Twins, [DT]) facilitan la integración entre sistemas de gestión, optimizando la toma de decisiones estratégicas mediante el análisis de grandes volúmenes de datos. Esta capacidad de generar reportes en tiempo real y fomentar la mejora continua evidencia su valor para fortalecer la gestión empresarial y extender sus beneficios más allá del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) en Colombia.

### Recomendaciones

Se recomienda revisar las legislaciones durante el avance del tiempo, para no incurrir en incumplimientos potenciales futuros, debido que, al momento de relajar el

presente trabajo, no hay legislación alguna de mandatorio cumplimiento en la incorporación de los (Digital Twins, [DT]) dentro de los marcos del SST, lo que permite incorporar como ventaja competitiva, con los diferentes sistemas de gestión que puedan poseer las empresas en los sectores industriales.

Profundizar en la adaptación de (Digital Twins, [DT]) al (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) conforme a la ISO 45001, evaluando el costo-beneficio de licencias libres y pagas, cuya determinación propia de implementación es una decisión de particular de los interesados, ya sean personas o entidades empresariales al igual que a la comunidad en general. La incorporación de (Digital Twins, [DT]) en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) no solo contribuye en la seguridad y la eficiencia de las operaciones, sino que también posiciona a las organizaciones en un nivel competitivo más alto. Esta tecnología promueve la innovación y el cumplimiento de estándares internacionales en (seguridad y salud en el trabajo [SST]) en Colombia, como en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), contribuyendo a un entorno laboral más seguro y sostenible en el tiempo.

Incentivar la investigación futura para validar la aplicación de (Digital Twins, [DT]) en sectores de alto riesgo, debido que estos dependen de las características generales como específicas de cada industria, donde estas deben ser evaluados por personal capacitado lograr esta integración dentro de ellos sistemas de gestión cumplimiento las normatividades vigentes por los entes de control. Promover la contante actualización, indagación e investigación en el marco legal normativos en Colombia como a nivel global, debido que, a la fecha de realización del presente, no hay legislaciones que regulen estas temáticas a nivel legal, pero los (Digital Twins, [DT]), como se pueden observar, permite ser partícipes del mantenimiento de la seguridad industrial como herramienta tecnológica, que puede contribuir al SST de las industrias, según los recursos que puedan llegar a ser asignados.

Finalmente se recomienda que para futuras investigaciones en de formación de pregrado o de postgrado, se pueda continuar en materia de dicha temática debido que todavía las legislaciones no dan por instaurados el uso de herramientas tecnológicas de la

industria 4.0, en este caso los (Digital Twins, [DT]), lo que permite identificar oportunidades de mejora en diferentes campos industriales, puntuales y/o específicos, teniendo un direccionamiento de los gemelos digitales en materia de los (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), al área de interés a estudiar particular.

### **Agradecimientos**

El autor Samir Alexander Caicedo Tapias, desea expresar su más sincero agradecimiento a la Señora Nelcy Quintero Álvarez, quien, sin haber participado directamente en el desarrollo de este trabajo de investigación, creyó en este proceso y lo que esto conlleva, brindó un respaldo moral invaluable. Su confianza incondicional, aliento constante y fe en este proceso constituyeron un soporte silencioso pero determinante, que fortaleció el compromiso y la motivación necesarios para culminar satisfactoriamente estos resultados. Reconocer ese tipo de acompañamiento, muchas veces inherente, intangible, discreto y difícil de cuantificar, es también honrar las formas fundamentales de apoyo que hacen posibles estos logros.

### **Declaración de conflicto de interés**

El autor declara no tener ningún conflicto de interés relacionado con esta investigación.

### **Declaración de contribución a la autoría**

Carlos Andrés Guzmán Rojas: análisis formal, adquisición de fondos, investigación, metodología, administración del proyecto, supervisión, validación, revisión y edición de la redacción.

Samir Alexander Caicedo Tapias: Metodología.

### **Declaración de uso de inteligencia artificial**

Los autores declaran que no utilizaron Inteligencia Artificial en ninguna parte de este manuscrito.

Trabajos identificados como 100% elaborado por el autor llevarán en el pie de página:

## REFERENCIAS

- Andrango Alóbel, M. S., & Arroyo Morocho, F. R. (2022). Industria 4.0 y economía circular: Revisión de la literatura y recomendaciones para una industria sustentable en Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 14623–14638. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v5i6.1422](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1422)
- Arriagada-Benítez, M. (2020). Ciencia de datos: Hacia la automatización de las decisiones. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(4), 556–557. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000400556>
- Chen, W., Hu, J., Yu, X., Chen, D., & Wu, Z. (2022). Robust fault detection for uncertain delayed systems with measurement outliers under stochastic communication protocol. *IEEE Transactions on Signal and Information Processing over Networks*, 8, 684–701. <https://doi.org/10.1109/TSIPN.2022.3192650>
- Chitram, L., Romaine, M., & Wadih, G. (2009). *Safety management: A comprehensive approach to developing a sustainable system* (1st ed.). American Society of Safety Engineers.
- Congreso de la República de Colombia. (2020, 31 de diciembre). Ley 2069 de 2020, por medio del cual se impulsa el emprendimiento en Colombia. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=281>
- Corrales Bonilla, J., Ribeiro, N., & Gomes, D. R. (2022). Las competencias exigidas a los trabajadores de la Industria 4.0: Cambios en la gestión de personas. *Cuadernos de Relaciones Laborales*, 40(1), 161–184. <https://doi.org/10.5209/crla.72383>
- Davenport, T. H., & Kirby, J. (2016). Just how smart are smart machines? *MIT Sloan Management Review*. <https://sloanreview.mit.edu/article/just-how-smart-are-smart-machines/>

- Das, N., & Paul, G. (2022). Cryptanalysis of quantum secure direct communication protocol with mutual authentication based on single photons and Bell states. *EPL (Euro physics Letters)*, 139(4). <http://dx.doi.org/10.1209/0295-5075/ac2246>
- Dong, Z., Zhelev, X., Yean, Z., & Jinhua, D. (2023). Overview of predictive maintenance based on digital twin technology. *Helion*, 9(7), e14534. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14534>
- ISO. (2018). ISO 45001: Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. Organization International de Normalization.
- Kuok Ho, D. T. (2021). A case study of asset integrity and process safety management of major oil and gas companies in Malaysia. *Journal of Engineering Research and Reports*, 20, 6–19. <http://dx.doi.org/10.9734/JERR/2021/v20i217260>
- Ministerio de Trabajo. (2015, 26 de mayo). Decreto 1072 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>
- Ministerio de Trabajo. (2019, 13 de febrero). Resolución 0312 de 2019, Estándares mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=82666>
- Omidvar, M., Zaire, E., Rameando, B., & Yazid, M. (2022). Fuzzy Bow-Tie Analysis: Concepts, review, and application. End M. Yazid (Ed.), *Linguistic methods under fuzzy information in system safety and reliability analysis* (pp. 49–69). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-93352-4\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-93352-4_3)
- Orellana-Daube, D. F. (2020). El efecto global de la actual revolución tecnológica: 4ª revolución industrial y la industria 4.0 en acción. *Revista GEON: Gestión, Organizaciones y Negocios*, 7(2), 1–24. <https://doi.org/10.22579/23463910.194>
- Orive, D., López, A., Estévez, E., Orive, A., & Marcos, M. (2021, septiembre). Desarrollo de gemelos digitales para la simulación e integración de activos de fabricación en la industria 4.0. En *XLII Jornadas de Automática: Libro de actas* (pp. 709–716). Universidad de Coruña. <https://doi.org/10.17979/spudc.9788497498043.709>

- Pérez, M. Á. L., Piña, I. B., & Álvarez, G. V. (2021). Diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para asegurar procesos de producción de la industria 4.0. *South Florida Journal of Development*, 2(1), 1009–1017.  
<https://doi.org/10.46932/sfjdv2n1-074>
- Presidencia de la República de Colombia. (1990, 28 de diciembre). Ley 50 de 1990, Reforma al Código Sustantivo del Trabajo.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=281>
- Presidente de la República de Colombia. (2009, 23 de enero). Ley 1286 de 2009, se transforma a Colciencias en Departamento Administrativo, se fortalece el Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación en Colombia.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=34850>
- Presidente de la República de Colombia. (2022, 22 de julio). Decreto 1263 de 2022, Por el cual se adiciona el Título 22 a la Parte 2 del Decreto 1081 de 2015, en relación con los Lineamientos Generales de la Política de Gobierno Digital para la transformación digital del Estado y se dictan otras disposiciones.  
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=190206>
- Ramírez Pérez, J. F., López Torres, V. G., Hernández Castillo, S. A., & Morejón Valdés, M. (2021). Lean six sigma e industria 4.0: Una revisión desde la administración de operaciones para la mejora continua de las organizaciones. *UNESUM Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 5(4), 151–168. <https://doi.org/10.47230/unesciencias.v5.n4.2021.584>
- Riascos-Erazo, S. C., & Aguilera-Castro, A. (2024). Innovation, maturity of knowledge management and Industry 4.0: Look at Colombian SMEs. *Journal of Technology Management & Innovation*, 19(1), 29–39. <https://doi.org/10.4067/S0718-27242024000100029>
- Segarra Jaime, H. P., Ordoñez Guartazaca, M., & Ortega, D. L. (2020). El talento humano y su evolución en la industria 4.0. *Revista Universidad de Guayaquil*, 131(2), 1–18.  
<https://doi.org/10.53591/rug.v131i2.1349>

- Sommer, M., Schützelhofer, J., Stojanovski, A., Schmitt, R., Schlapp, R., Seitz, A., & Demharter, M. (2018). The digital twin paradigm for future NASA and U.S. Air Force vehicles. 53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. <https://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2012-1818>
- Sri Wahyuni Nasution, S. A., Aprilia, S., & Ginting, C. N. (2023). The relationship between inhibiting factors and the implementation of the occupational safety and health management system. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(Special Issue), 5989. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9iSpecialIssue.5989>
- Stefanini, R., & Vignali, G. (2023). The influence of Industry 4.0 enabling technologies on social, economic and environmental sustainability of the food sector. *International Journal of Production Research*, 62(10), 3800–3817. <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2248523>
- Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94, 3563–3576. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0233-1>
- Wang, J., Hu, D., Peng, C., Zhi, H., & Wu, L. (2022). Safety assessment through HAZOP-LOPA-SIL analysis implementation in the DPA demulsifier production process. *Process Safety Progress*, 41(2), e12414. <https://doi.org/10.1002/prs.12414>
- Zapata, M., Topón-Visarrea, L., & Tipán, E. (2021). *Fundamentos de automatización y redes industriales*. Editorial Universidad Tecnológica Indoamérica. <http://repositorio.uti.edu.ec//handle/123456789/2226>