

**Gemelos Digitales Orientados Al Sistema De Gestión De Seguridad Y Salud En El
Trabajo: Revisión De Alcance**

Samir Alexander Caicedo Tapias

Trabajo de grado para optar el título de Especialista en Seguridad y Salud en el Trabajo

Director

Carlos Andrés Guzmán Rojas

Magister Territorio Conflicto y Cultura

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Ingeniería

2025

Dedicatoria

A mi madre Lilia Tapias Torres, mi padre Mariano Caicedo Girón, mi abuela Clara Sofía Torres Páez y mi familia en general, por su invaluable, constante e incondicional apoyo a lo largo de mis diferentes etapas académicas. Desde mi formación profesional y ahora en esta especialización, su respaldo ha sido un pilar fundamental, siempre brindando su esfuerzo y dedicación para alcanzar estos logros.

A las doctoras y doctores Luisa Fernanda Cifuentes Silva, Carol Sofía González Sierra, Stefany Shirley Duran Martínez, Pablo Marcel Rivera Chávez y Sergio Andrés Chacón Salazar, profesionales de diversas áreas de la salud, cuyo acompañamiento y orientación me permitieron ampliar mi perspectiva, brindándome una visión integral que enriquece el enfoque de la ingeniería de la seguridad y salud en el trabajo con nuevas aristas de análisis.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la materialización de este trabajo.

Con aprecio y gratitud,

Samir Alexander Caicedo Tapias

Agradecimientos

A mis colegas de la cohorte XIX de la especialización en Seguridad y Salud en el Trabajo, por compartir sus experiencias profesionales en diversas áreas laborales. Su apoyo y colaboración fueron fundamentales para el análisis y la resolución de problemáticas abordadas en este estudio, enriqueciendo el desarrollo del presente documento mediante el intercambio de ideas y conocimientos.

A los ingenieros Leimar Edimer Pardo Alza, Carlos Andrés Guzmán Rojas, como al profesional Samuel Orlando Torres Marín por sus invaluable orientaciones y gestiones a lo largo de cada etapa del proceso, brindando directrices esenciales para la consolidación de los resultados obtenidos.

Con sincero agradecimiento,

Samir Alexander Caicedo Tapias

Contenido

Introducción	14
1. Gemelos digitales orientados al sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo: revisión de alcance	16
1.1 Planteamiento del problema	16
1.1.1 Formulación del problema.....	19
1.2 Justificación.....	19
1.3 Objetivos	27
1.3.1 Objetivo general	27
1.3.2 Objetivos específicos	27
2. Marco referencial	27
2.1 Antecedentes	27
2.2 Marco teórico	29
2.3 Teorías del desarrollo de DT.....	30
2.3.1 Teoría de Modelado de Sistemas.....	30
2.3.2 Teoría de Sistemas ciberfisicos	30
2.3.3 Teoría de Big Data y Analítica.....	30
2.3.4 Teoría del Aprendizaje Automático	31
2.4 Marco Conceptual	31
2.4 Marco Legal	33
2.5 Marco Normativo	34
3. Diseño Metodológico.....	35
3.1 Alcance.....	35

3.2 Ecuaciones de búsqueda.....	36
3.3 Criterios de elegibilidad:	37
3.4 Fuentes de información:	37
3.5 Estrategia de análisis:	38
4. Desarrollo.....	40
4.1 Características generales de software de licencia libre:	42
4.2 Características generales de software de licencia:	43
5. Conclusiones	48
6. Recomendaciones	49
7. Acerca de los apéndices	50
Referencias.....	52
Apéndices.....	55

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Características gemelos digitales en las industrias 4.0</i>	22
Tabla 2. <i>Gemelos digitales orientado hacia el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo</i>	35
Tabla 3. <i>Ecuaciones de búsqueda</i>	36
Tabla 4. <i>Bases de datos utilizadas</i>	37
Tabla 5. <i>Fuentes de información de los gemelos digitales para el SG-SST</i>	38
Tabla 6. <i>Matriz DOFA de los gemelos digitales para el SG-SST</i>	39
Tabla 7. <i>Anexo 1, Matriz Características Gemelos Digitales en el SG-SST</i>	55
Tabla 8. <i>Anexo 2, Matriz Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (a)</i>	56
Tabla 9. <i>Anexo 3, Matriz Características Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (*)</i> ..	57
Tabla 10. <i>Anexo 4, Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (b)</i>	58
Tabla 11. <i>Anexo 5, Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (c)</i>	59
Tabla 12. <i>Anexo 6, Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (d, e, f)</i>	60
Tabla 13. <i>Anexo 7, Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (d, e, f)</i>	61
Tabla 14. <i>Anexo 8, Fabricantes DT y países de origen DT</i>	62
Tabla 15. <i>Anexo 9, Elementos de análisis de los DT en la SG-SST</i>	63
Tabla 16. <i>Anexo 10, PIB países de origen DT datos aproximados en euros 2023 - 2024</i>	64
Tabla 17. <i>Anexo 11, Nivel de Riesgo con Adaptación de los DT en los Sectores industriales</i>	65
Tabla 18. <i>Anexo 12, Análisis anexos del 1 al 11 Adaptación de los DT en el SG-SST</i>	66

Lista de figuras

Figura 1. <i>Colaboración autónoma el gemelo digital: un componente de software clave en Industria 4.0.</i>	21
Figura 2. <i>Diagrama del Sistema de Gestión</i>	23
Figura 3. <i>Manual del Sistema Integrado de Gestión</i>	24
Figura 4. <i>Integración de Sistemas de Gestión</i>	24
Figura 5. <i>Diagrama de flujo aplicación de gemelos digitales para la gestión empresarial en los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo 2024.</i>	26
Figura 6. <i>Método de Búsqueda</i>	36

Lista de apéndices

Apéndice A. <i>Matriz Características Gemelos Digitales en el SG-SST</i>	55
Apéndice B. <i>Matriz Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (a)</i>	56
Apéndice C. <i>Matriz Características Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (*)</i>	57
Apéndice D. <i>Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (b)</i>	58
Apéndice E. <i>Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (c)</i>	59
Apéndice F. <i>Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (d, e, f)</i>	60
Apéndice G. <i>Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (d, e, f)</i>	61
Apéndice H. <i>Fabricantes DT y países de origen DT</i>	62
Apéndice I. <i>Elementos de análisis de los DT en la SG-SST</i>	63
Apéndice J. <i>PIB países de origen DT datos aproximados en euros 2023 - 2024</i>	64
Apéndice K. <i>Nivel de Riesgo con Adaptación de los DT en los Sectores industriales</i>	65
Apéndice L. <i>Análisis anexos del 1 al 11 Adaptación de los DT en el SG-SST</i>	66

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

Glosario

5G: Quinta generación de tecnologías de comunicación móvil que permite una conectividad de alta velocidad, baja latencia y mayor capacidad de transmisión de datos, facilitando la interconexión de dispositivos en entornos industriales y de seguridad en el trabajo.

Big Data: gestión y análisis de grandes volúmenes de datos que pueden ser útiles en SST para monitorear condiciones laborales.

Capacitación: proceso de formación continua en conocimientos y habilidades laborales, esencial en el SG-SST.

Ciencia de Datos: Disciplina que combina técnicas estadísticas, algoritmos de aprendizaje automático e inteligencia artificial para analizar grandes volúmenes de datos y extraer conocimientos aplicables a la toma de decisiones.

Decreto 1072 de 2015: norma en Colombia que regula los sistemas de gestión de SST en empresas.

Digitalización: Proceso de conversión de información, procesos o sistemas físicos en formatos digitales para su almacenamiento, análisis y gestión en entornos virtuales.

Gemelos Digitales (DT): representaciones virtuales de objetos o sistemas físicos que permiten simulación y análisis en tiempo real.

Gestión del Cambio: Estrategia organizacional enfocada en la adaptación progresiva de procesos, tecnologías y cultura empresarial ante nuevas tendencias e innovaciones.

GTC 34: Guía técnica colombiana que establece los requisitos y lineamientos para la gestión de seguridad y salud en el trabajo, facilitando la identificación de peligros, evaluación de riesgos y control de condiciones laborales en diferentes sectores industriales.

GTC 45: Guía técnica colombiana que proporciona metodologías para la identificación, análisis y valoración del riesgo en ambientes laborales, orientando a las empresas en la implementación de medidas preventivas y correctivas dentro del SG-SST.

Industria 4.0: revolución industrial basada en tecnologías digitales como IoT, IA y automatización avanzada.

Inteligencia Artificial (IA): tecnología que permite a sistemas informáticos realizar tareas que requieren inteligencia humana, aplicada en el análisis de riesgos en SST.

Internet de las Cosas (IoT): red de dispositivos interconectados que recopilan y comparten datos, relevante para monitoreo en SST.

Legislaciones SST: conjunto de leyes y regulaciones que rigen la seguridad y salud laboral.

Mejora Continua: proceso de optimización constante de procedimientos y condiciones en SST.

Plataforma Digital: Conjunto de herramientas y sistemas basados en software que permiten la integración, gestión y automatización de procesos en entornos industriales o organizacionales.

Riesgo Laboral: probabilidad de ocurrencia de incidentes o condiciones peligrosas en el entorno laboral.

Seguridad y Salud en el Trabajo (SST): conjunto de prácticas y normativas para prevenir accidentes y enfermedades laborales.

Simulación Virtual: Creación de entornos digitales que replican condiciones reales con el objetivo de predecir, evaluar o mejorar procesos industriales y de seguridad en el trabajo.

Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST): sistema que estructura la gestión de SST en organizaciones para cumplir requisitos legales y mejorar las condiciones laborales.

Transformación Digital: Proceso mediante el cual las organizaciones adoptan tecnologías digitales para optimizar sus operaciones, mejorar la eficiencia y fortalecer la toma de decisiones en entornos industriales y de gestión.

Trazabilidad: capacidad de rastrear el historial, uso o ubicación de datos y eventos dentro del SG-SST.

Introducción

La transformación digital impulsada por la Industria 4.0 ha revolucionado múltiples sectores industriales, integrando tecnologías avanzadas como el (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]). 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.

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.

1. Gemelos digitales orientados al sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo: revisión de alcance

1.1 Planteamiento del problema

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]) 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, re-entrenamientos 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.

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.

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 re-inducciones, 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 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, re-entrenamientos 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]) 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]) y garantizar la alineación con los requisitos legales aplicables.

1.1.1 Formulación del problema

¿Cómo pueden los gemelos digitales ser utilizados en el marco del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) para la identificación o evaluación de peligros o riesgos, y cómo pueden contribuir en los procesos de entrenamiento, re-entrenamientos o capacitaciones organizacionales, en el área de seguridad industrial, ¿teniendo en cuenta las diferentes clasificaciones de software?

1.2 Justificación

Los cambios tecnológicos, a los que enfrentamos diariamente transacciones de diferentes productos y servicios, incluida la gestión empresarial, aparecen los (Digital Twins, [DT]), una tecnología ligada a las industrias 4.0, se convierte en una herramienta que evalúa, supervisa y busca la mejora continua, cumpliendo los estándares involucrados en el (sistema de seguridad y salud en el trabajo [SST]) , independientemente del tamaño de las empresas, los (Digital Twins,

[DT]) en (sistema de seguridad y salud en el trabajo [SST]) , permiten verificar, identificar o evaluar peligros y riesgos, de las áreas de trabajo, pensando en el talento humano.

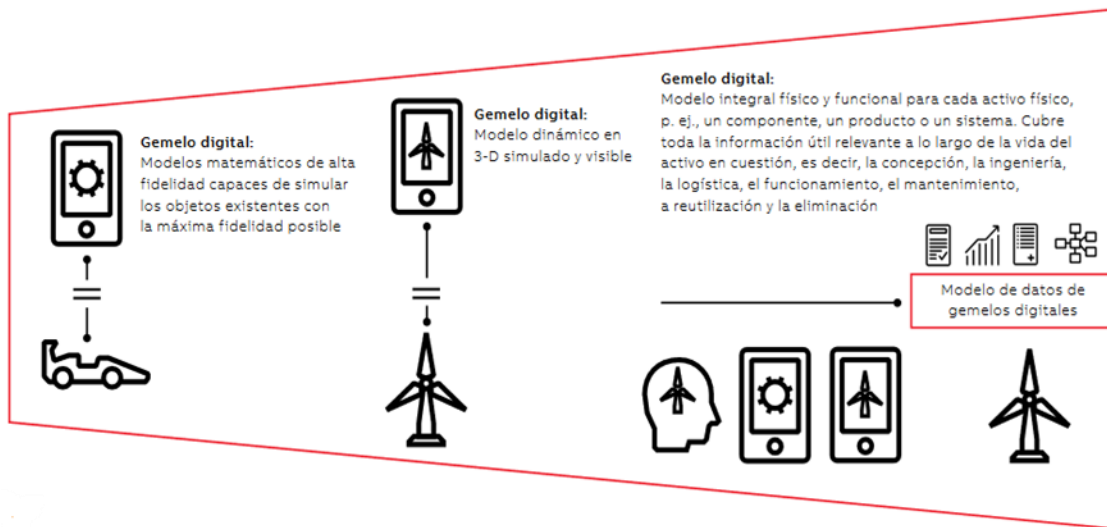
Así, el (sistema de seguridad y salud en el trabajo [SST]) participa de las industrias 4.0, acordes a lo que demanda la globalización para la homogenización de los procesos, buscando que el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) involucre a todo el personal en las labores para velar por la salud, la ergonomía, la seguridad, mitigando las lesiones y enfermedades causadas por las condiciones de trabajo, dando un mejor entorno del lugar o sitio del trabajo y del clima laboral.

De igual manera al ser una tecnología de aplicación globales los (Digital Twins, [DT]), se convierte en una herramienta fructífera para las organizaciones independientemente del sector industrial, donde el (sistema de seguridad y salud en el trabajo [SST]) no es ajeno a estas temáticas, debido que la gestión empresarial necesita de las herramientas más adecuadas para que la alta gerencia y dirección empresarial, pueda realizar la toma de decisiones, evaluar actualizaciones de las plantas, procesos de mejora continua, entre otros.

Los (Digital Twins, [DT]) son un tema tan amplio que puede abarcar sectores naval, aeronáutico, biomédico, mecatrónico, informático, la integración en los (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), dentro de la gestión empresarial, brinda el escenario adecuado para compilar información, dentro de las actividades laborales, recomendar o permitir identificar no conformidades en las áreas de trabajo, permite emular los espacios reales de las organizaciones, lo que da la antesala para gestionar los activos físicos o tangibles de las organizaciones, facilitando con estos datos alimentar el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), para identificar potenciales falencia u oportunidades de mejora de las industrias. En las habilidades de demanda el sector labora, cada vez más encaminados a la

sinergia profesional y a la integridad de los conocimientos, la especialización en seguridad y salud en el trabajo, tomada en la Universidad Santo Tomás, siendo dentro de la formación la tecnología integrada al (seguridad y salud en el trabajo [SST]), da las bases para la integración de los (Digital Twins, [DT]), en las industrias 4.0, independientemente el área de trabajo, de la ingeniería, la arquitectura, entre otras, permitirá que gestión empresarial, se aprecia en la siguiente imagen.

Figura 1. *Colaboración autónoma el gemelo digital: un componente de software clave en Industria 4.0.*



Tomado de ASEA Brown Boveri Ltd (ABB, 2018).

Ahora, tomando la referencia anterior, se ilustrará la imagen 1, que da el resumen de la gestión de incorporación de los (Digital Twins, [DT]), para generar la incorporación en los sistemas de gestión en el marco de la gestión empresarial, ya que la (seguridad y salud en el trabajo [SST]) está ligada a la mejora continua, esto debido al (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]), no solo es la incorporación de legislaciones varias para las organizaciones, son gestiones documentales, dinámicas en pro de la gestión del cambio, y una

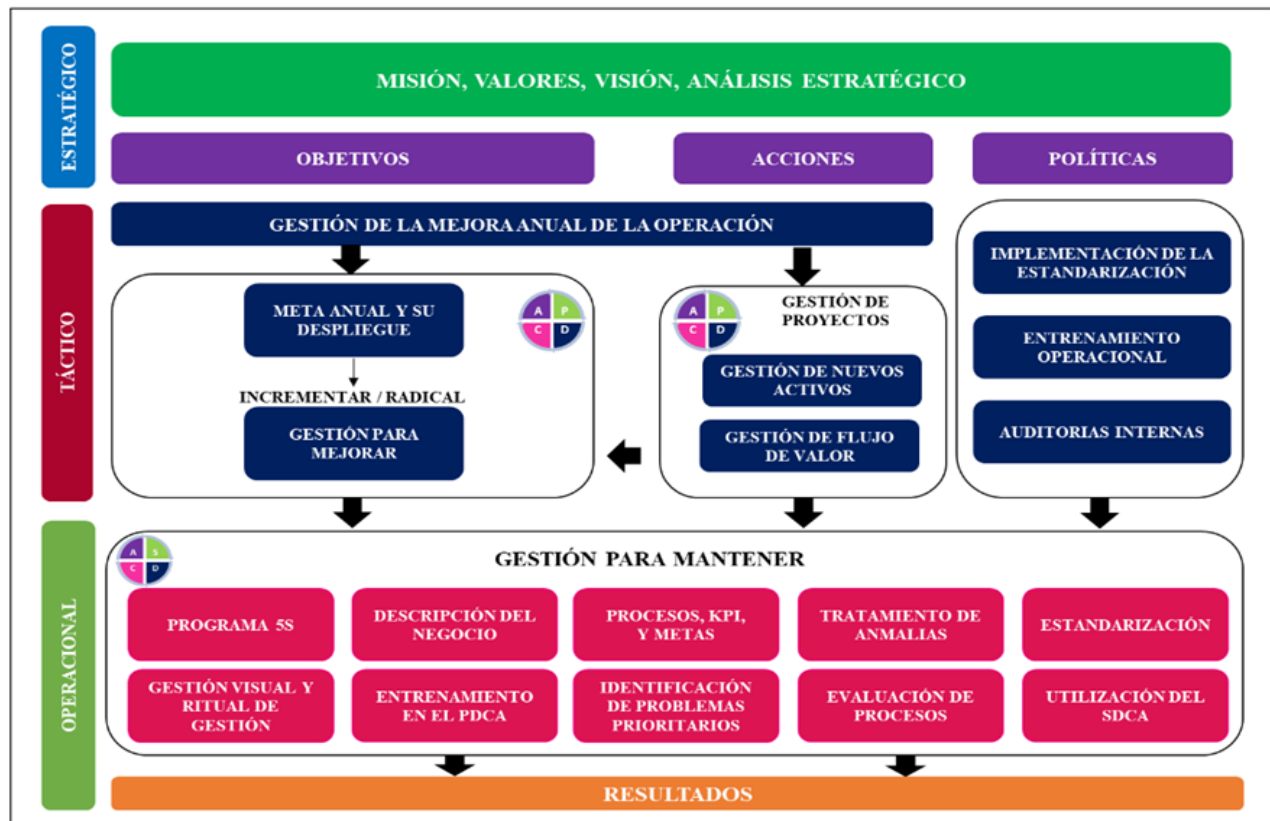
herramienta idónea para actualizar los procesos, o si la alta gerencia necesita para la auditoría, y consultorías.

Tabla 1. *Características gemelos digitales en las industrias 4.0.*

	Planificación	Construcción	Funcionamiento	Mantenimiento
Información sobre el ciclo de vida del producto	Gestión ciclo de vida de producto	Gestión ciclo de vida de producto	Instrucciones de funcionamiento	Registros de servicio
Representación en 3 -D	Dibujos de diseño	Instrucciones de fabricación	Visualización de la planta	Instrucciones de servicio, realidad aumentada
Modelo	Predicción del comportamiento	Puesta en servicio	Rendimiento del control	Diagnostico
Simulación	Simulación del diseño	Pruebas de "hardware - in-the- loop"	Estudios con escenarios hipotéticos	Predicción
Modelo de datos	Datos de ingeniería	Datos de fabricación	Datos operativos	Datos de servicio
Análisis conectados			KPI operativos	KPI sobre el estado de los activos
Visualización	Herramienta de diseño	Herramienta de diseño	Pantalla del estado operativo	Pantalla del estado de salud

Nota: Adaptado de ASEA Brown Boveri Ltd (2018).

De esta manera los datos son una parte importante dentro de la (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) para la gestión empresarial, aquí es donde los (Digital Twins, [DT]), aparecen con las directrices del análisis de datos y la ciencia de datos, para la realización de entrenamientos o re-inducciones o inducciones, o en la parte forense para las auditoría ya sean internas o externas.

Figura 2. Diagrama del Sistema de Gestión

Tomado de Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado Venezuela (UCOLA, 2019).

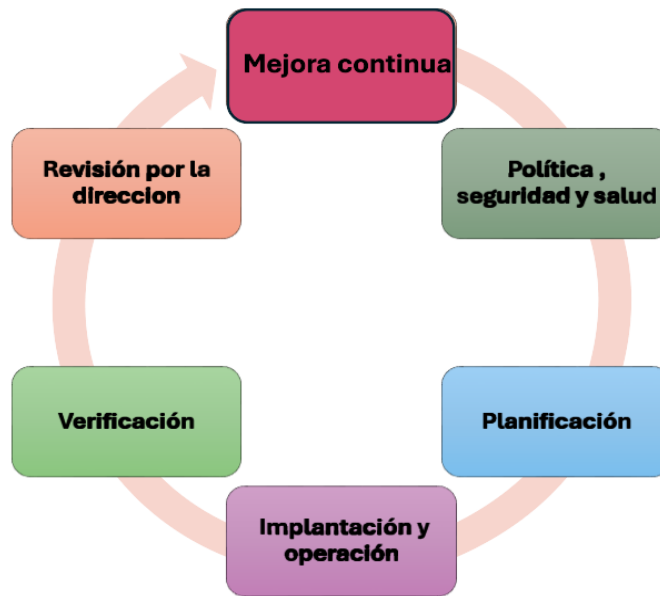
Con lo anterior se puede integrar con los sistemas de gestión y el SG-SST, no es la excepción, ya que como se aprecia en la imagen 3 y 4 mencionada a continuación, da importancia a un uso de (Digital Twins, [DT]), para la (seguridad y salud en el trabajo [SST]), ya que se integra el ciclo (Planificar-Hacer-Verificar-Actuar [PHVA]), y como se ilustra en la imagen 5, consultada la norma dada por OHSAS 18001:2008 actualmente derogada, pero que origina la ISO 45001, reconocida mundialmente de como entidad de normalización internacional para aplicaciones en distintos sectores industriales.

Figura 3. *Manual del Sistema Integrado de Gestión*



Tomado República de Colombia, Departamento Nacional de Planeación. (DNP, 2021).

Figura 4. *Integración de Sistemas de Gestión*



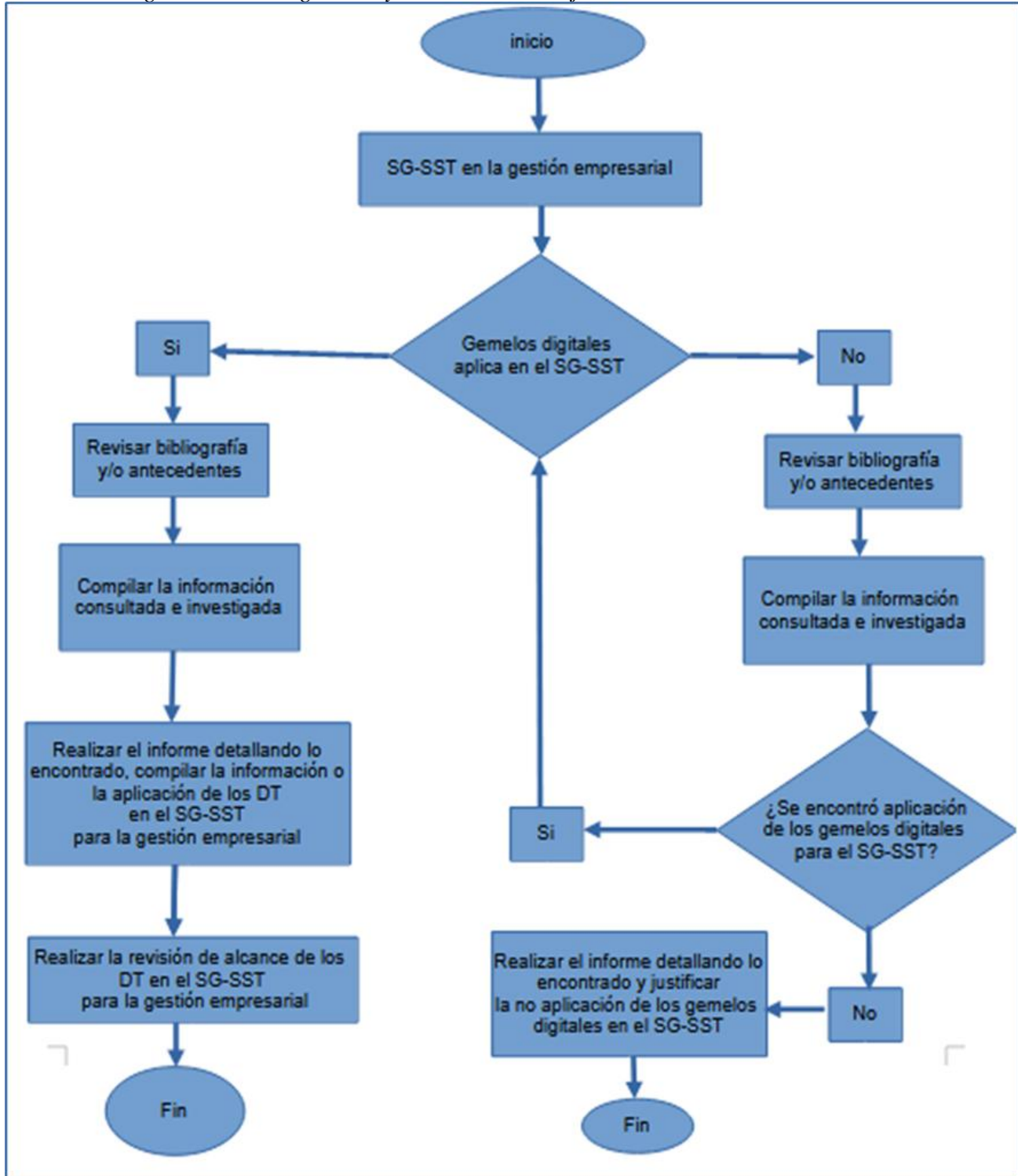
Tomado de Asturias Corporación Universitaria (Asturias, 2017).

Se permite así la integración de los (Digital Twins, [DT]) con la ciencia de datos para tomar decisiones para el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) buscando la mejora continua, para el (seguridad y salud en el trabajo [SST]), y la divulgación con clientes internos o externos para la organización empresarial, lo que genera una simbiosis entre normas como la ISO 9001, ISO 27001 y las demás que la gestión empresarial implementen, dado que el ((seguridad y salud en el trabajo [SST]) es un compendio de normas, de aplicación y esto al final es información que se genera, se compila y actualiza según necesidades o demandas de los entes de control.

Con la información compilada y con los conocimientos adquiridos en la especialización se puede discernir el siguiente algoritmo para los (Digital Twins, [DT]) el marco de la gestión empresarial orientado hacia el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]): una revisión de alcance, de esta manera se podrá identificar la viabilidad de los gemelos digitales, para su desarrollo en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]).

Así se podrá dejar una ruta para la toma de decisiones para identificar la aplicación o no de los (Digital Twins, [DT]), en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) para la gestión de alcance, y poder plasmar los resultados de la investigación, para poder desarrollarla en este documento, así se identificarán las fortalezas, falencias de los (Digital Twins, [DT]) en el entorno de la (seguridad y salud en el trabajo [SST]), así se puede ver la incorporación de los (Digital Twins, [DT]); donde gracias a las estandarizaciones internacionales como las de la ISO, se puede agrupar dentro de los campos de aplicación de las tecnologías de las industrias 4.0.

Figura 5. Diagrama de flujo aplicación de gemelos digitales para la gestión empresarial en los sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo 2024.



Nota: Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Establecer las características de los gemelos digitales usados en el marco de la SG-SST, en el área de seguridad industrial, en materia de entrenamiento y re-entrenamientos industrial, para identificación de peligros o riesgo potenciales de las entidades industriales.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar los gemelos digitales, dadas las clasificaciones del origen del software bajo licencia libre o de pago, en materia de entrenamiento y re-entrenamientos industrial, para identificación de peligros de las entidades industriales.

Establecer las tecnologías o temáticas afines relacionadas a los gemelos digitales, en el marco de la gestión empresarial, orientado hacia el sistema de gestión de seguridad y salud según peligros para el área de seguridad industrial de las entidades.

Explorar cómo los gemelos digitales permiten la identificación y evaluación de peligros o riesgos para la trazabilidad de la seguridad industrial en el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) dentro de las organizaciones.

2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

Los sistemas de gestión de las organizaciones resultan de la compilación de las operaciones para estandarizar los procesos, en las diferentes áreas organizacionales

indiferentemente del área de trabajo en la organización, lo que permite homogenizar las actividades para clientes internos o externos de las empresas, e incorporar niveles óptimos de la competitividad (Asturias , 2017), así se puede involucrar el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) en las organizaciones para cumplir las legislaciones en materia de la (seguridad y salud en el trabajo [SST]).

En la entrada de este siglo se creó la transición de las industrias 3.0 a la 4.0, donde se desarrollaron diferentes tecnologías como lo son el (Internet de las Cosas [IoT]), las 5G, la (Inteligencia Artificial [IA]), los (Digital Twins, [DT]), entre otros, que dan herramientas para sus funcionamientos en las empresas independiente del sector industrial al que las empresas pertenezcan (Somayeh, M. et ál., 2018). De esta manera se pueden incorporar las tecnologías a los diferentes sistemas de gestión, en los diferentes niveles gerenciales u operativos de las empresas (Torres, 2019). Donde se da como pilares la mejora continua y el cumplimiento de los requisitos mínimos para el cumplimiento de la (seguridad y salud en el trabajo [SST]) como lo es el decreto 1072 de 2015, resolución 0312 de 2019 en mención a algunos, lo que es de obligatorio cumplimiento para las empresas ya sean del orden público, privado o mixto.

De esa manera los diferentes sistemas de gestión pueden interactuar y coexistir (Asturias 2017), donde estos mismos involucran las diferentes tecnologías para la optimización de los procesos y dar trazabilidad de los mismos (Sommer et ál., 2018). Aplicando de esta manera la mejora continua organizacional en sus procesos (ISO 45001, 2018). De este modo se puede dar cumplimiento a los parámetros legales de la (seguridad y salud en el trabajo [SST]) para las diferentes empresas en sus múltiples sectores industriales, ya sean para la prestación de servicios o la elaboración de productos en sus diversas clases de riesgos laborales (Ministerio de Trabajo 2019). En las empresas en sus múltiples áreas de trabajo para la ejecución de las tareas laborales,

hacen que la (sistema de seguridad y salud en el trabajo [SST]), sea única según las necesidades de las organizaciones.

Para poder establecer en las organizaciones herramientas de software el entorno físico de los lugares de trabajo que permita reconocer los espacios, la variables directas o indirectas de funcionamiento de los procesos industriales (Chitram L. et ál., 2009). Esto se podría lograr gracias a que los DT son versátiles según el nivel de detalle que se desee obtener de acuerdo con (Somayeh, et ál., 2018). Siendo una herramienta versátil y se pueden lograr diferentes niveles de detalle, donde su producto final permite lograr la entrega de capacitaciones o re inducciones a los diferentes colaboradores de los diferentes niveles de las empresas.

Actualmente existen diversos softwares compatibles con el diseño y desarrollo de gemelos digitales, disponibles con licencias comerciales como de código abierto, lo que permite su adopción según la madurez financiera y el nivel de capacitación del personal en los sistemas de gestión de las organizaciones dictado por (Somayeh, et ál., 2018). Esto asegura la integración de gemelos digitales en empresas de distintos sectores industriales, ya sean públicas, privadas o mixtas, para su integración al (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]).

2.2 Marco teórico

La industria 4.0 es considerada la nueva revolución industrial, revelando un crecimiento exponencial de las nuevas tecnologías, pero también revela el potencial de los DT en la transformación, del papel de las personas, en este tipo de tecnologías. Existe la necesidad de consolidar la investigación para mantener una comprensión común del tema y garantizar que los esfuerzos de investigación futuros se basen en bases sólidas. En la literatura no existe una visión consolidada y consistente sobre el gemelo digital y cómo evoluciona el concepto para satisfacer

las necesidades de los numerosos casos de uso a los que se lo vincula. Esta falta de coherencia ha dado lugar a una gran variedad de caracterizaciones y definiciones de los gemelos digitales y del proceso de hermanamiento digital que, debido a la variedad de marcos aplicados en la industria.

2.3 Teorías del desarrollo de DT

2.3.1 Teoría de Modelado de Sistemas

Dentro de la teoría de modelado de sistemas planteada por Mitchell (1997), considera que, “dados los numerosos avances en modelado y simulación en las últimas décadas, son cada vez más necesarios, esa construcción de modelos de simulación además cada vez es más fácil y rápido gracias a la implementación de avances en software y hardware”. (Sommer, et ál., pp 201 – 257)

2.3.2 Teoría de Sistemas ciberfísicos

Los sistemas físicos y ciberfísicos orientados hacia ámbitos de aplicación industrial, Los sistemas podrían mejorar la seguridad y la eficiencia hacia ámbitos de aplicación industrial, beneficiarse considerablemente de una mejor integración y ofrecer precisión y confiabilidad en la historia de la innovación humana. (Lee, 2008) como componente de uso industrial.

2.3.3 Teoría de Big Data y Analítica

Los líderes empresariales, no esperan que las máquinas limiten o reemplacen las labores de sus trabajadores del conocimiento en un futuro próximo. En cambio, esperan que la tecnología

informática amplíe el trabajo de los humanos, El mapeo de las tecnologías cognitivas según su funcionamiento muestra el estado actual de las máquinas inteligentes y anticipa cómo podrían evolucionar las tecnologías futuras. (Davenport, 2014)

2.3.4 Teoría del Aprendizaje Automático

Los sistemas permiten aprender y mejorar con experiencia, Sistemas como PRODIGY y SOAR han demostrado la utilidad de los métodos de aprendizaje basados en explicaciones para adquirir el conocimiento efectivo, Los gemelos digitales incorporan técnicas de aprendizaje automático para actualizar continuamente sus modelos a partir de datos del mundo real, (Mitchell, 1997) con implicaciones industriales.

2.4 Marco Conceptual

Sistemas de gestión, conjunto de procedimientos estandarizados para los procesos en las empresas en los diferentes niveles organizacionales como lo dicta (Chitram L et ál., 2009), lo que permite homogenizar las actividades en búsqueda de la calidad (Asturias, 2017), lo que permite mayor competitividad empresarial.

Seguridad y salud en el trabajo, son un grupo de normas y legislaciones que deben cumplir las empresas para su funcionamiento y operación mencionado (República de Colombia, 2021) para buscar las condiciones de trabajo de las personas en los sectores industriales.

Gemelos digitales, tecnología derivada de las industrias 4.0, que permite simular los espacios de trabajo o locativo, con sus diferentes procesos de operaciones tratado por el autor (Dong Z et ál., 2023), ya sean en la elaboración de productos, prestación de servicios, toma de tiempos y movimientos y demás actividades que se realicen en las empresas.

El sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en este espacio permite citar (República de Colombia, 2021) que consiste en desarrollar un proceso lógico y por etapas, basado en la mejora continua, que aplica a todos los sectores industriales, ya sean de origen público, privado o mixto.

Mejora continua es proceso permanente para analizar los rendimientos, identificando las oportunidades, realizando cambios graduales en los procesos, los productos y el personal (Torres, 2019) con la participación de todos los miembros de la organización.

Trazabilidad es el conjunto de procedimientos preestablecidos que conforman una historia o trayectoria medible, verificable para los diferentes procedimientos tratado por los autores (Tao et ál., 2018), igualmente aplica para los diferentes procesos de las organizaciones, donde estos datos, información o resultados deben ser almacenados para sus diferentes consultas.

Ciencia de datos como mencionan los autores (Tao et ál., 2018) y (Dong Z et ál., 2023) es el proceso de compilación, consulta y uso de los datos, generalmente ligado a los sistemas de información en grandes volúmenes a tiempo real o con una latencia mínima que permita su consulta como su almacenamiento para su procesamiento y tomar decisiones según las necesidades del usuario final.

Toma de decisiones, como lo señalan los autores (Asturias, 2017) como de (Torres, 2019) que son las acciones que se realizan con precedentes, recomendaciones, según necesidades intrínsecas o extrínsecas, que permitan realizar o generar resultados, que pueden compilarse y evaluarse según las necesidades de los usuarios o entidades.

2.4 Marco Legal

En las legislaciones en sus niveles de jerarquía, permite seguir este cumplimiento normativo e incluir a los (Digital Twins, [DT]) en la (seguridad y salud en el trabajo [SST]), posibilita sus resultados, como inercia en los procesos organizacionales de las empresas, para realizar actividades laborales como el cumplimiento de las normas legales.

Se presenta como principio fundamental la legislación propia en (seguridad y salud en el trabajo [SST]), a nivel de la República de Colombia, pero puede adaptarse según las políticas y legislaciones de los diferentes países en caso de ser consultado y desarrollados por interesados en otros territorios, ya que los gemelos digitales permiten la adaptación a los sistemas de gestión (Chitram L. et ál., 2009), que para nuestro caso es el (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]).

Estándares nacionales como la GTC 34 o la GTC 45, en mención algunas permiten adaptar las tecnologías de la información, tecnológicas ligadas a las industrias 4.0 que abarcan a los DT, donde las tecnologías aplicables con los diferentes sistemas de gestión (Asturias, 2017), siempre que el SG-SST y las herramientas que se utilicen cumplan, ayuden, o involucren al SST (República de Colombia, 2021) así genera una herramienta de consulta, capacitación en diferentes niveles de detalle para mejorar las condiciones de trabajo, identificando los peligros o riesgos de las áreas de trabajo.

Los (Digital Twins, [DT]), son un factor de innovación, así mismo para las empresas, Dentro del decreto 1072 en su artículo 2.24.6.2 y 2.2.4.6.24 considera que las evaluaciones, y acciones preventivas y correctivas, deben estar orientadas para la identificación, prevención, evaluación, valoración y control de los peligros y riesgos en la empresa, este crecimiento personal que buscan los empleadores para sus empleados se logra mediante, el proceso de

capacitación continua frente al trabajo que desempeñan, la ley 50 de 1990, Artículo 21. La inclusión de actividades que se dediquen exclusivamente a labores recreativas, culturales, deportivas o de capacitación.

El gobierno mediante la inclusión de nuevas leyes permite y estimula la creación de entornos sociales y económicos, que promuevan el emprendimiento y la creación de empresas, fortaleciendo el Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología y a Colciencias para lograr un modelo productivo sustentado en la ciencia, la tecnología y la innovación, Ley 1286 de 2009, La transformación digital pública, mediante la Consolidación de entidades públicas más eficientes y proactivas, que hacen uso de las TIC para prestar mejores servicios a la ciudadanía y resuelven de forma óptima sus necesidades y solicitudes. (Decreto 1263, 2022)

De este modo se puede estipular que los (Digital Twins, [DT]) son unas herramientas digitales de las industrias 4.0, que se integran con el cumplimiento como lo pueden ser entrenamientos, identificativos de peligros, riesgos, inducciones (Ministerio de Trabajo, 2019), entre otros, no siendo imposibilitados ni interfieren con estas mismas legislaciones, y de lo contrario dan la antesala a la mejora continua según el nivel de madurez de las organizaciones (Zio E et ál., 2020), aplicando así a diferentes tamaños de las empresas como de los sectores industriales ya sea en la elaboración de productos o prestación de servicios.

2.5 Marco Normativo

En esta parte se mencionará el marco normativo como resumen ver tabla 2, donde se establecen los sistemas de gestión internacional aceptados para aplicar el (seguridad y salud en el trabajo [SST]) en la República de Colombia, ya que las normas internacionales son

recomendaciones y no obligaciones, siendo reconocidos y utilizados por diferentes sectores y países miembros.

Tabla 2. *Gemelos digitales orientado hacia el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo.*

Gemelos digitales orientado hacia el SG SST
ISO 45001:2018
Una organización es responsable de la seguridad y salud en el trabajo (seguridad y salud en el trabajo [SST]) de sus trabajadores y de la de otras personas que puedan verse afectadas por sus actividades. Esta responsabilidad incluye la promoción y protección de su salud física y mental.
Permiten las integraciones de las tecnologías para el análisis de los datos, entregar y llevar la trazabilidad de la información en el rol de la mejora continua y el beneficio de los clientes internos como externos de las organizaciones.
Especifica los requisitos para un sistema de gestión de seguridad y salud que permite a una organización controlar las variables de los riesgos para eliminar, mitigar o minimizar los riesgos a su personal y otras partes interesadas, quienes podrían estar expuestos a peligros relacionados a las actividades.

Nota: adaptado de Norma (ISO 45001, 2018)

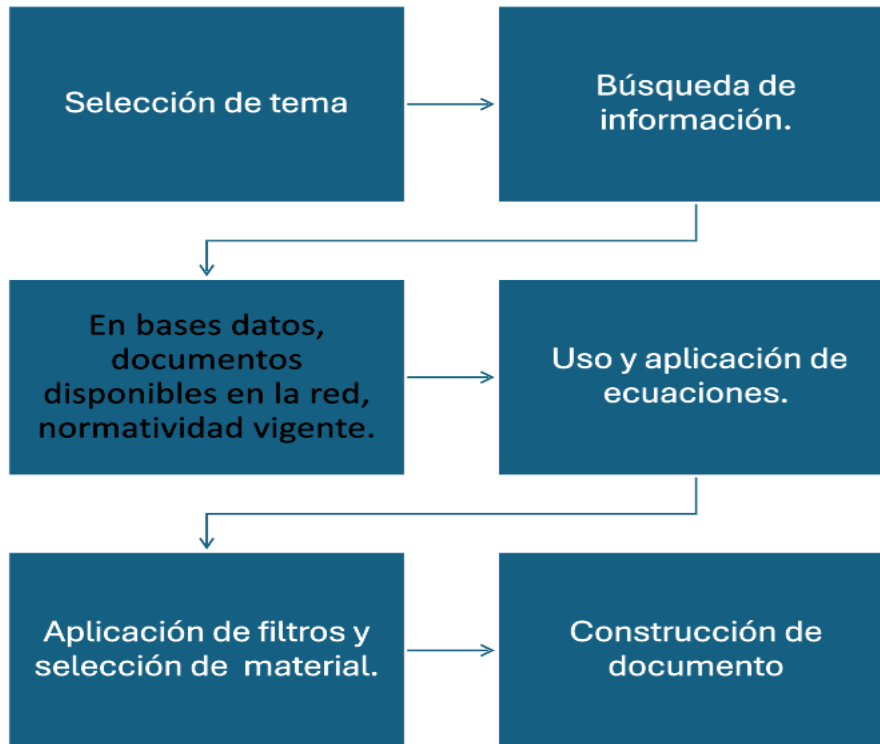
3. Diseño Metodológico

3.1 Alcance

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]) para el desarrollo de las actividades laborales de las empresas.

Figura 6. Método de Búsqueda



Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)

3.2 Ecuaciones de búsqueda

Tabla 3. Ecuaciones de búsqueda

Composición de las ecuaciones de búsqueda
(Gemelos Digitales) AND (Industrias)
(Digital twins) AND (Industry)

Nota: Los términos referidos fueron tomados de los descriptores DeCS/MeSH.

3.3 Criterios de elegibilidad:

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. 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]).

3.4 Fuentes de información:

Se establecen estas como fuentes de información para los gemelos digitales orientados al sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en la revisión de alcance, con la participación de varias tecnologías de los últimos 10 años y compatibilidad con los diferentes sistemas de gestión.

Tabla 4. *Bases de datos utilizadas*

Bases de datos utilizadas			
<i>ECUACIÓN DE BÚSQUEDA</i>	<i>1.PUBMED</i>	<i>2.EBSCO</i>	<i>5. REVISTAS</i>

Bases de datos utilizadas			
Digital twins and industry	184 artículos	118.409 artículos	74 artículos
Gemelos digitales e industria	0 artículos	405 artículos	123 artículos
<i>ECUACIÓN DE BÚSQUEDA</i>	<i>3. CATÁLOGO USTA REPOSITORIO</i>	<i>4.SCIENCEDIRECT</i>	<i>6.PUBLICACIONES ACADÉMICAS</i>
Digital twins and industry	05 artículos	20866 artículos	114 artículos
Gemelos digitales e industria	02 artículos	22 artículos	45 artículos

Nota: Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)

Tabla 5. Fuentes de información de los gemelos digitales para el SG-SST

Gemelos digitales orientados al SST en el SG-SST fuentes de información		
Legales	Estándares Nacionales	Estándares internacionales
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: Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)

3.5 Estrategia de análisis:

Después de realizar una lectura crítica, de los artículos incluidos en la bibliografía del presente trabajo, que integran una sintaxis en el ámbito de SST, como en los SG-SST con la sinergia de las tecnologías de la industria 4.0 que incluyen a los gemelos digitales como una tecnología emergente compatible con estas temáticas y los sistemas de gestión de las organizaciones, a los que logramos acceder, se logró hacer una construcción del documento, obteniendo datos que permitieron determinar el desarrollo y uso de DT, frente al SST, como un proceso de mejora continua. Los requisitos y objetivos, así como la dinámica del mundo físico,

son tan complejos y dinámicos que el desarrollo de (Digital Twins, [DT]) es un proceso continuo, lo que significa que el (Digital Twins, [DT]) evoluciona en diferentes etapas para lograr su capacidad máxima.

Con el uso del análisis empresarial [*business analytics*], se puede definir la importancia de incorporar los (Digital Twins, [DT]) en las empresas y como se ha mencionado a lo largo del presente documento depende de los grados de madurez, así como de la participación de todos los niveles de jerarquía de la organización, de igual manera la participación de las tecnologías (Chitram L. et ál., 2009) como los (Digital Twins, [DT]) para cumplir con las necesidades del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) que deben cumplir las empresas.

Tabla 6. *Matriz DOFA de los gemelos digitales para el SG-SST*

Debilidades	Oportunidades
Adquisiciones de licencias. No adaptabilidad en el corto plazo, por el grado de detalle que se desee incorporar con el uso de los DT en la organización (más tiempo de implementación y más costos en el corto plazo). Rechazo a la gestión del cambio en las organizaciones, de no recibir el apoyo y acompañamiento por la gerencia como de las políticas de las organizaciones.	Mejora continua en los sistemas de gestión. Trazabilidad de la información. Compatibilidad con los diferentes sistemas de gestión en las organizaciones. Integración con diferentes tecnologías y análisis de datos. Identifica o adaptar el nivel de detalle de los gemelos digitales para el SG-SST según necesidades por el usuario final.
Fortalezas	Amenazas
Existencias de licencias de código abierto. Cumplimiento de las legislaciones del SST. Disminución de los costos en el mediano y largo plazo, debido a la sistematización de la información del SST en los entornos de trabajo. Adaptabilidad para la identificación de los peligros y riesgos en las organizaciones.	Altos costos en casos de cambios en las legislaciones del SST. Implementar actividades de retención del personal en los entornos laborales. Cambio d ellas políticas según lo demande los entes de control o los órganos legales.

Nota: Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)

Así, 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.

4. Desarrollo

Dentro del desarrollo tecnológico presente en los diferentes sectores industriales, profesiones en sus diversas áreas 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 de anexos 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 7 a 12.

Establecer tecnologías afines. Las tablas de anexos 6, 7 y 8 identifican las tecnologías relacionadas y fabricantes de (Digital Twins, [DT]). Evidencia: Tablas 13 y 14. Explorar la identificación de peligros y riesgos. El anexo 9 (Tabla 15) y el anexo 10 (Tabla 16) analizan riesgos por sector industrial y su relación con los DT. Evidencia: Tablas 15 a 18.

Con una integración del (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]) 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]), 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 13 a 16: Describen fabricantes, países de origen, como el

(producto interno bruto [PIB]), evidenciando la adopción internacional. Tablas 17 y 18: 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 13 y 14 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]).

Exponiendo el análisis de riesgos basado en la Tabla 15 (Análisis de elementos teóricos y prácticos) y la Tabla 17 (Nivel de Riesgo según sector industrial). 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 13, 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:

4.1 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 pilotos. Integración con otros sistemas empresariales.

4.2 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 pilotos.

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, re-entrenamientos 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 re-entrenamiento 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 (Sommer 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 ellos anexos:

Anexos 1 al 5: Enfocados en la identificación de licencias y compatibilidades.

Anexos 6 al 8: Relacionados con fabricantes y tecnologías complementarias.

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

Anexo 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 7 (Anexo 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 8 (Anexo 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 9 (Anexo 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 (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]).

Tabla 10 (Anexo 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 11 (Anexo 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 12 (Anexo 6): Compatibilidad y Usos en (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]): 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 las mismas, ya que estas dependen de las necesidades de los interesados como de la aplicación.

Tabla 13 (Anexo 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 14 (Anexo 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 15 (Anexo 9): Elementos de Análisis de (Digital Twins, [DT]) en (sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo [SG-SST]): 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 16 (Anexo 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 17 (Anexo 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 18 (Anexo 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]).

5. 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]), 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]).

6. 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 mandatario 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]), 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 d 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, 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 puedo 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 niveles pos-graduales póstumos a la especialización o niveles similares al presente, 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.

Al ser los (Digital Twins, [DT]) una tecnología de las industrias 4.0, el nivel de capacitación inicial es elevada, pero los beneficios en entrenamientos, en entornos incorporando los (Digital Twins, [DT]), permitirá llevar la trazabilidad en las identificaciones de los peligros como de los riesgos, generando una ventaja competitiva, ya que permitiría identificar los históricos de capacitaciones y medir los resultados con los diferentes datos incorporándolos a otros sistemas de gestión que posean las organizaciones.

7. Acerca de los apéndices

Los apéndices que aquí se integran permiten profundizar en el análisis técnico, económico y normativo del uso de gemelos digitales en la seguridad y salud en el trabajo. Su inclusión en este estudio proporciona una base de datos detallada que permite a los investigadores y profesionales de diversas áreas del sector industrial contar con información estructurada y fundamentada, facilitando la toma de decisiones y la adaptación de estas

tecnologías en diferentes industrias y sectores de alto riesgo para diferentes sectores industriales como se puede apreciar dentro de la información de estos.

Referencias

- Asturias Corporación Universitaria. (2017). Integración de sistemas de gestión. <https://www.centro-virtual.com/recursos/2019a07m06dc@v3p@r@1v3st1g@c10n/int3gr@c10n.pdf>
- Chitram, L., Rohanie, M., & Waddah, 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>
- 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/>
- Departamento Nacional de Planeación. (2021). Manual del sistema integrado de gestión. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/DNP/MANUAL%20DEL%20SIG.Pu.pdf>
- Dong, Z., Zhelei, X., Yian, Z., & Junhua, D. (2023). Overview of predictive maintenance based on digital twin technology. Heliyon. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14534>
- ISO. (2018). ISO 45001: Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. Organización Internacional de Normalización.
- Ministerio de Trabajo. (2015, 26 de mayo). Decreto 1072 del 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>

Mitchell, T. M. (1997). Machine learning (Vol. 1, No. 9). Estados Unidos, New York: McGraw-hill. ISBN 0070428077

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/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=72173>

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.minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/1286%20de%202009.pdf>

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=71969>

Riascos-Erazo, Sandra Cristina, & Aguilera-Castro, Adriana. (2024). Innovation, Maturity of Knowledge Management and Industry 4.0: Look at Colombian SMEs. *Journal of technology management & innovation*, 19(1), 29-39. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27242024000100029>

- 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>
- 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*, <https://doi.org/10.1007/s00170-017-1161-6>
- Torres, E., Gatti, J. S., & Moncayo, S. M. (2019). El sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo: implementación y normatividad en Colombia. *Revista de Ciencias Sociales* <https://www.redalyc.org/journal/880/88062542005.pdf>
- Zio, E., & Miqueles, L. (2020). Digital twin-based safety management systems for dynamic environments. In *International Conference on Human Factors in Computing & Management Science*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20467-8_12

Apéndices

Apéndice A. Matriz Características Gemelos Digitales en el SG-SST

Tabla 7. Anexo 1, Matriz Características Gemelos Digitales en el SG-SST

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: Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)

GEMELOS DIGITALES ORIENTADOS AL SG-SST

Apéndice B. *Matriz Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (a)*

Tabla 8. *Anexo 2, Matriz Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (a)*

Gemelo Digital (a)					
1	GE Predix	6	Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE	11	Bentley Systems iTwin
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), Zio, E., & Miqueles, L. (2020), Sommer, M., et ál., (2018), Chitram, L., et ál., (2009), Davenport, T. H., & Kirby, J, (2016), Dong, Z., et ál., (2023)

GEMELOS DIGITALES ORIENTADOS AL SG-SST

Apéndice C. *Matriz Características Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (*)*

Tabla 9. *Anexo 3, Matriz Características Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (*)*

Gemelo Digital (*)

La lista corresponde a plataformas, sistemas y/o softwares diseñados para implementar gemelos digitales, en lugar de ser gemelos digitales específicos, ya que la mayoría de las soluciones en el mercado son plataformas que permiten a las empresas crear gemelos digitales personalizados para sus necesidades.

Nota : Adaptado de Tao, F., et ál., (2018), Zio, E., & Miqueles, L. (2020), Sommer, M., et ál., (2018), Chitram, L., et ál., (2009), Davenport, T. H., & Kirby, J, (2016), Dong, Z., et ál., (2023)

GEMELOS DIGITALES ORIENTADOS AL SG-SST

Apéndice D. Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (b)

Tabla 10. Anexo 4, Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (b)

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

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), Zio, E., & Miqueles, L. (2020), Sommer, M., et ál., (2018), Chitram, L., et ál., (2009), Davenport, T. H., & Kirby, J, (2016), Dong, Z., et ál., (2023)

Apéndice E. *Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (c)*

Tabla 11. *Anexo 5, Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST 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), Zio, E., & Miqueles, L. (2020), Sommer, M., et ál., (2018), Chitram, L., et ál., (2009), Davenport, T. H., & Kirby, J, (2016), Dong, Z., et ál., (2023)

GEMELOS DIGITALES ORIENTADOS AL SG-SST

Apéndice F. Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (d, e, f)

Tabla 12. Anexo 6, Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (d, e, f)

Compatibilidad con Seguridad Industrial (d)	Utilidad para Entrenamientos o Reentrenamientos (e)	Utilidad para identificar peligros y riesgos (f)
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: Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)

GEMELOS DIGITALES ORIENTADOS AL SG-SST

Apéndice G. Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (d, e, f)

Tabla 13. Anexo 7, Matriz de los Gemelos Digitales en el SG-SST Característica (d, e, f)

Análisis Territorial	
Nacional	Internacional
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: Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)

GEMELOS DIGITALES ORIENTADOS AL SG-SST

Apéndice H. *Fabricantes DT y países de origen DT*

Tabla 14. *Anexo 8, Fabricantes DT y países de origen DT*

Origen Análisis Territorial								
<i>DT</i>	<i>País Origen</i>	<i>Fabricante</i>	<i>DT</i>	<i>País Origen</i>	<i>Fabricante</i>	<i>DT</i>	<i>País Origen</i>	<i>Fabricante</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), Zio, E., & Miqueles, L. (2020), Sommer, M., et ál., (2018), Chitram, L., et ál., (2009), Davenport, T. H., & Kirby, J, (2016), Dong, Z., et ál., (2023)

Apéndice I. *Elementos de análisis de los DT en la SG-SST*

Tabla 15. *Anexo 9, Elementos de análisis de los DT en la SG-SST*

Elementos de análisis de los DT en la SG-SST	
<i>Elementos teóricos</i>	<i>Elementos prácticos</i>
Fuentes de Información. Teoría del Aprendizaje Automático. Teoría de Big Data y Analítica. Teoría de Sistemas Ciberfísicos. Teoría de Modelado de Sistemas. Teorías del desarrollo de DT.	Implementación de DT en el entorno de aprendizaje autónomo mediante la incorporación de lenguaje máquina en los entornos industriales. Compilación de los grandes volúmenes de 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, riesgos 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: Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)

Apéndice J. PIB países de origen DT datos aproximados en euros 2023 - 2024**Tabla 16. Anexo 10, PIB países de origen DT datos aproximados en euros 2023 - 2024**

País Fabricante DT	PIB Anual	Pib Per Capita
Estados Unidos	± 25.000.000 €	± 76.000 €
Alemania	± 4.000.000 €	± 40.000 €
Francia	± 2.000.000 €	± 40.000 €
Reino Unido	± 3.000.000 €	± 40.000 €
Japón	± 3.000.000 €	± 30.000 €

Nota : Adaptado de Riascos et ál., (2023) como de Stefanini et ál., (2024),

Apéndice K. *Nivel de Riesgo con Adaptación de los DT en los Sectores industriales***Tabla 17.** *Anexo 11, Nivel de Riesgo con Adaptación de los DT en los Sectores industriales*

Sector Industrial y Nivel de Riesgo	
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 los demás 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: Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)

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

Tabla 18. *Anexo 12, Análisis anexos del 1 al 11 Adaptación de los DT en el SG-SST*

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 como del SG-SST, son de importancia en los sectores industriales de alto riesgo, como se 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 re-entrenamientos, 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 re-entrenamientos, 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.

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 en materia de SST 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 la tabla del anexo 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 re-entrenamientos.

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

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, re-entrenamientos, 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 grandes volúmenes de variables dependiente como independientes 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: Elaborado por Samir Alexander Caicedo Tapias (Samir, 2025)