

Technological tools applied to safety and health at work and trends in the development of innovation in Colombia

Herramientas tecnológicas aplicadas a la seguridad y salud en el trabajo y tendencias del desarrollo de la innovación en Colombia

Olga Clemencia Ramírez Ramírez - olgaramirez@unitec.edu.co

Open Access

Key words:

Industrial revolution, technological innovation, safety measures, accident prevention, data transmission.

Palabras clave:

Revolución Industrial, innovación tecnológica, medida de seguridad, prevención de accidentes, transmisión de datos.

Abstract

The Fourth Industrial Revolution - 4IR represents the growth of available technology to facilitate life, but it has also contributed to improving productivity and reducing accidents or occupational diseases. Some of these tools are not known in the Colombian context, while in other cases, they are considered to be of low effectiveness relative to cost. That's why the article addresses nine of the available technologies (measurement and monitoring devices, automation of operations, virtual and augmented reality, artificial intelligence and big data, blockchain, drones, NFC technology, nano and microelectronics, and digital twins), clarifying their functionality and respective application in favor of Occupational Health and Safety, concluding with an analysis of the future of technological innovation in Colombia, where the main focus has been on acquiring technologies developed elsewhere, rather than promoting indigenous innovation. It identifies the gap corresponding to connectivity figures, access to quality internet, or positioning in the global patent ranking, showing that there is still a considerable distance from over 50 nations that carry out more effective technological creation processes.

Resumen

La Revolución Industrial 4.0 (4RI) representa el crecimiento de la tecnología disponible para facilitar la vida, pero también ha aportado a la mejora de la productividad y la reducción de la accidentalidad o la enfermedad laboral. Algunas de esas herramientas no son conocidas en el contexto colombiano; en otros casos, se consideran de baja efectividad con respecto al costo. Es por ello que el artículo aborda nueve de las tecnologías disponibles (dispositivos de medición y monitoreo, automatización de operaciones, realidad virtual y aumentada, inteligencia artificial y *big data*, blockchain, drones, tecnología NFC, nano y microelectrónica y gemelos digitales), aclarando su funcionalidad y respectiva aplicación en favor de la seguridad y salud en el trabajo, finalizando en un análisis del futuro de la innovación tecnológica en Colombia, donde el enfoque principal ha sido adquirir tecnologías desarrolladas en otros lugares en lugar de impulsar la innovación propia. Identifica la brecha correspondiente a las cifras de conectividad o el acceso a internet de calidad o el posicionamiento en el *ranking* global de patentes, mostrando que aún hay mucha distancia con respecto a más de 50 naciones que realizan procesos de creación tecnológica más efectivos.



1. Introducción

En la actualidad, la revolución tecnológica 4.0 aporta un dinamismo en el desarrollo de innovaciones como aquellas que buscan la intervención o diagnóstico de los entornos laborales con un enfoque preventivo, limitando la presencia de los seres humanos en ubicaciones nocivas o peligrosas o protegiéndolos de condiciones adversas. En lo sucesivo, se realizará una identificación de las tecnologías emergentes de seguridad y salud en el trabajo presentes hoy en las diferentes actividades económicas, así como las proyecciones que plantean los diferentes investigadores y desarrolladores para el futuro próximo.

El presente artículo tiene como objetivo explorar las tendencias actuales en el uso de la tecnología para mejorar las condiciones de seguridad y salud en los entornos laborales. Se analizarán diversas herramientas y enfoques tecnológicos que están ganando terreno en diferentes industrias, desde dispositivos de monitoreo y realidad aumentada hasta inteligencia artificial, drones y gemelos digitales.

Asimismo, se examinarán los desafíos y oportunidades que enfrenta Colombia en la implementación de estas tecnologías, considerando factores como la brecha digital, la capacidad de innovación local y la necesidad de adaptarse a los rápidos avances tecnológicos. Se discutirá la importancia de fomentar una cultura de prevención respaldada por soluciones tecnológicas de vanguardia, con el fin de reducir los riesgos laborales y garantizar entornos de trabajo seguros y saludables.

A través de este artículo de reflexión, se busca brindar una visión panorámica de las tendencias más relevantes en el campo de la seguridad y salud laboral mediada por la tecnología, identificando tanto las oportunidades como los desafíos que enfrentan las organizaciones y los profesionales en este ámbito. Finalmente, el objetivo es destacar el papel crucial que desempeñan las innovaciones tecnológicas en la protección de la vida y el bienestar de los trabajadores en la era digital.

2. Metodología-materiales y métodos

El artículo se enmarcó dentro de un enfoque cualitativo, ya que se buscó explorar en profundidad las tendencias actuales y obtener un análisis detallado sobre las innovaciones tecnológicas en diversos sectores [1, 2]. Este enfoque permitió comprender las dinámicas detrás de la adopción de tecnologías como dispositivos de monitoreo, realidad aumentada, inteligencia artificial, drones y gemelos digitales, y cómo estas influyen en la seguridad y salud en el trabajo. La investigación cualitativa resultó adecuada para identificar patrones, generar teorías y ofrecer una visión holística del fenómeno estudiado.

Se optó por un método exploratorio que combinó la revisión documental, entrevistas semiestructuradas y un estudio de caso, con el fin de obtener una comprensión amplia y profunda sobre el uso de tecnologías innovadoras en seguridad y salud en el trabajo (SST). La revisión documental, centrada en la recopilación de estudios previos, informes técnicos y artículos científicos, permitió mapear el estado actual del conocimiento sobre tecnologías emergentes, como los dispositivos de monitoreo, la inteligencia artificial y los drones, entre otros. Esta estrategia ofreció una base sólida para identificar las tendencias más relevantes y las tecnologías con mayor impacto en el ámbito laboral.

Por otro lado, las entrevistas semiestructuradas con expertos y representantes de empresas pioneras brindaron una perspectiva práctica y actualizada, lo que permitió profundizar en las experiencias reales de implementación de estas tecnologías. Este enfoque cualitativo fue crucial para obtener una visión detallada de los desafíos y oportunidades que enfrentaron las organizaciones al adoptar innovaciones en SST.

El estudio de caso mencionado en ESG Innova Group sirvió como ejemplo concreto para ilustrar la aplicación real de las tecnologías estudiadas, lo cual añadió una dimensión práctica al análisis. Esto enriqueció la investigación al proporcionar ejemplos tangibles de cómo las innovaciones estaban siendo utilizadas para mejorar la seguridad y salud laboral.

3. Resultados y discusión

Desarrollo analítico

El mundo, en la actualidad, aborda la denominada Cuarta Revolución Industrial (4RI), en la cual la tecnología se encuentra a la disposición de todos los sectores económicos, en todas las temáticas, y la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) no es la excepción.

En el caso de Colombia, la normatividad vigente, como el Decreto 1072 de 2015, con la obligación de contar con el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, y el mismo Código Sustantivo del Trabajo, imponen la obligación a los empleadores del deber de protección, garantizando la identificación de los peligros a los que se exponen los trabajadores y obrando a favor de los mismos para evitar cualquier impacto o deterioro a su salud. No obstante, siempre existirá la posibilidad de que se presente un error humano en el análisis, la supervisión y la ejecución de las tareas peligrosas, ya sea por exceso de confianza, descuido, comportamiento negligente o temerario, desviaciones que difícilmente se presentan con el uso de las diferentes herramientas tecnológicas disponibles, haciendo más llamativo su uso.

En lo sucesivo, se realiza una identificación y análisis de las herramientas tecnológicas y sus funcionalidades en la seguridad y salud en el trabajo según amplia difusión en internet, revistas científicas y estudios de caso [3].

Dispositivos de medición y monitoreo:

Este es fácilmente uno de los más difundidos, pudiéndose decir que sus inicios no corresponden a la Cuarta Revolución Industrial, pues llevan años de uso. Se trata de tecnología basada en sensores que reportan información como niveles de humedad, temperatura, ruido, concentración de gases [4]; también identifican presencia en lugares no autorizados o intrusiones. Los datos generan alertas tempranas para reacciones oportunas, ya sea de evacuación, restricción de acceso o simple seguimiento.

Con el paso del tiempo, se ha llegado incluso a medidores que reportan datos fisiológicos [5], como saturación de oxígeno, frecuencia cardiaca, movimiento muscular, posición corporal, función cerebral y más. El objetivo es monitorear al trabajador para determinar su estado de salud durante la ejecución de alguna tarea y garantizar su estabilidad ante escenarios riesgosos.

Hay algunos dispositivos portátiles denominados sensores de detección ergonómica cuya función es la de identificar las posturas de trabajo incómodas en tareas como el levantamiento de objetos pesados o las acciones de movimiento repetitivo; cuando se identifican, los dispositivos emiten alertas de seguridad en tiempo real para que el trabajador corrija su postura. La organización Kinetic estima, por ejemplo, que el 84 % de las posturas inseguras podrán reducirse con sensores ergonómicos y ayudas para el levantamiento de cargas por lo menos en el sector del envío, embalaje y entrega de mercancías [6]. El mismo informe de las tendencias tecnológicas en seguridad y salud en el trabajo refiere que un informe de Perr & Knight identificó que estas tecnologías portátiles de reflejo cinético han tenido como resultado una reducción de la frecuencia de las lesiones por torceduras y esguinces de entre el 50-60% y un total del 72 % de reducción en los días laborales perdidos.

Las herramientas tipo sensores, en su mayoría, se encuentran instaladas en la infraestructura, mientras que otras se han convertido en dispositivos “wearable” [7], concepto abordado del inglés e interpretado como “vestible”. Se refiere al *wearable computing*, que significa computación usable, elementos electrónicos inteligentes que se han miniaturizado para incorporarlos en tecnologías portables como relojes, gafas, cascos, camisetas, overoles, chalecos, cinturones y otros. Ahora bien, la mejor funcionalidad en el monitoreo de datos depende de la conectividad que los transmita; ahí es donde hace presencia el internet de las cosas, más conocido en el entorno como IoT por *Internet of Things*, término que fue introducido a finales de los 90 por Kevin Ashton haciendo referencia al intercambio de datos entre un dispositivo y los sistemas que usan internet con protocolos de comunicación interoperables [8]. Al respecto, Samaniego cita, en el portal Hablemos de Empresas [9], que IBM enuncia:

“La tecnología IoT es la mejor opción para monitorizar, recopilar datos mediante sensores y entender mejor nuestros entornos de trabajo”. En sus mismos análisis, IBM habla de acompañar los dispositivos de una red 5G, idealmente, porque fortalece la conectividad y transmisión de datos de las herramientas en su rol de prevención; esto permite incluir en este ítem el uso de aplicaciones móviles que conectan con los sensores o que hacen uso de los mismos equipos celulares para generar los reportes de interés medidos.

Según Campero Jurado *et al.*, los cascos con conexión IoT se vienen investigando incluso desde 2016. Sreenithy Chandran mostraba que la instalación de una cámara y sensores en un casco, que reportara automáticamente la información a un acelerómetro que monitoreara las variaciones erráticas, tenía efectividad en la prevención de los accidentes de trabajo y, por la evidencia gráfica, facilitaba su reporte [10]. Después de su investigación, generan una patente respecto a un casco con sistemas de comunicación y sensores a tal nivel que pueden procesar información con ayuda de la inteligencia artificial. Incluso, a futuro, podrán procesar los datos a través de un Deep CNN (red neuronal convolucional; por sus siglas en inglés, ConvNet) para detectar radiación térmica o incluso infecciones por COVID-19 [11]. Ese aprendizaje convolucional es, a partir de datos gráficos, en donde se identifican características de un tamaño, proximidad o color similar que se agrupan en capa sobre la cual se pone otra capa con las siguientes características agrupadas para arrojar la información de salida que puede ser aprovechada por su transformación en una CNN.

Automatización de las operaciones:

Uno de los mayores temores con respecto a esta alternativa es la pérdida de empleos por cuanto se trasladan los trabajos a tecnologías robotizadas que reducen los esfuerzos físicos, la ejecución de tareas de alto riesgo e incluso el mantenimiento de maquinaria y equipos.

Para el año 2021, el gobierno colombiano apoyó a la Federación Colombiana de la Industria de Software y Tecnologías Informáticas Relacionadas (Fedesoft) y The Aspen Institute Global Opportunity Youth

Network (GOYN) respecto al impacto de la automatización y las tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial en el mercado de trabajo colombiano. En él se determinan tres escenarios posibles de campos laborales afectados por 4RI [12]:

1. El que se perderá por la automatización o adopción de nuevas tecnologías.
2. Los empleos nuevos o emergentes que se requerirán para atender esas nuevas tecnologías.
3. Aquellos que necesitarán adaptarse y desarrollar nuevas habilidades.

A pesar de lo evidente de la situación, es inevitable que se migre a este tipo de tecnologías, no solo por la reducción de la enfermedad laboral y la accidentalidad en el trabajo, sino también por el incremento de la rentabilidad y la productividad en las industrias y los negocios en general.

La incorporación de esta herramienta en el mercado actual es notoria; por ejemplo, los exoesqueletos son, sino una opción de automatización, sí un traslado de la exigencia física del trabajador a un acople corporal mecánico. Su función es la de reducir los trastornos musculoesqueléticos de los trabajadores que realizan esfuerzo físico o levantamiento de cargas. El modelo “sin silla”, “*chairless*” en inglés, es, por ejemplo, un exoesqueleto para las personas que permanecen en posición bipedestante por periodos prolongados, ya sea en una sola ubicación o en movimiento; el exoesqueleto otorga soporte a las piernas de los operadores para trabajar como si estuvieran sentados, con libertad de movimiento y sin ninguna silla presente [13].

Las automatizaciones llegan también a las tareas administrativas. Las máquinas de dispensación son una de las opciones; las mismas con las cuales se pueden comprar golosinas en los hospitales, hoy pueden suministrar guantes, gafas de protección e incluso cascos, la diferencia es que en lugar de dinero se debe teclear el código del trabajador, con lo cual se puede llevar el control estadístico individual del consumo de elementos de protección personal.

Realidad virtual y realidad aumentada:

La principal utilidad reconocida a la fecha es el desarrollo de capacitaciones con fase práctica en Realidad Virtual (RV) o Realidad Aumentada (RA) que supone un menor riesgo y mejor entrenamiento por simulación de los escenarios críticos para evaluar la respuesta del trabajador.

La realidad virtual se trata de la creación de un mundo propio generado absolutamente de forma artificial, lo cual otorga una licencia creativa para determinar los escenarios en los cuales se quiere ofrecer la capacitación a los trabajadores con la intención de obtener las reacciones más puras. De otro lado, la realidad aumentada hace uso de un entorno existente y presente, pero adiciona elementos en aras de modificar la experiencia [14].

Existe multiplicidad de plataformas que usan este tipo de realidades para simular los escenarios sin ningún tipo de riesgo; encontramos Ludus y VrSense, por ejemplo. De acuerdo con la Región de Murcia, la gamificación se entiende como “el uso del pensamiento y mecánicas de juego en entornos no lúdicos con el objetivo de modificar el comportamiento de las personas”, es el potencial aprovechado para hacer que esta herramienta cobre relevancia [15]. La cantidad de personal capacitado puede incrementarse ostensiblemente con respecto a un escenario convencional; la inversión inicial de montaje es alta, pero la de mantenimiento es baja, y los costos de pólizas o atenciones médicas relacionadas también son más bajos.

Una capacitación de trabajo seguro en alturas puede no requerir andamios ni estructuras elevadas con su correspondiente certificación, sino que pueden reemplazarse por estructuras simples de anclaje y gafas de realidad virtual con algunos aditamentos para simular los entornos. El riesgo físico se reduce a una posible cefalea por el uso del dispositivo de realidad virtual y eso, en casos particulares [16].

Ahora bien, la capacitación no es la única aplicación de la realidad aumentada; por ejemplo, Patel denuncia que la organización DHL ha implementado unas gafas inteligentes que permiten el escaneo de los códigos de barras de los envíos en una modalidad

de manos libres, siguen los comandos por reconocimiento de voz, además de enviar la ubicación precisa a la plataforma, optimizando los tiempos productivos y favoreciendo la concentración del trabajador, que no debe hacer uso de múltiples dispositivos [6].

Inteligencia artificial y big data:

La Inteligencia Artificial (AI, por sus siglas del inglés) se refiere al razonamiento deductivo de las máquinas apoyado en una rama reconocida como *machine learning* o aprendizaje automático; con ella se usa a las computadoras para simular el aprendizaje humano con la diferencia de que las máquinas pueden modificar autónomamente su comportamiento, su deducción en función de su entrenamiento o experiencia, mismo que puede ser controlado por un algoritmo supervisado [8].

El entrenamiento es útil, por ejemplo, en el procesamiento de las múltiples estadísticas de enfermedades laborales o accidentes de trabajo en los diversos sectores económicos y actividades de servicios, industriales o institucionales; su tabulación y análisis requiere de *software* de procesamiento especializados, lo cual, unido a la inteligencia artificial, permite hacer proyecciones, generar alertas y orientar análisis que pueden incluso marcar un horizonte para las políticas públicas.

Este seguimiento y análisis supera ampliamente lo que el ojo humano puede detectar a simple vista. El reto principal que se afronta con estas herramientas es el “entrenamiento” de la inteligencia artificial para crear una tendencia real de prevención y las competencias de las personas en el uso del *software* de *big data* que apenas comienzan a verse como una oportunidad de formación académica ante una demanda creciente.

Gubernamentalmente, también será necesaria la creación de algunas políticas que controlen o limiten el uso de la inteligencia artificial y la mantenga dentro de límites éticos de uso en favor de las personas.

Blockchain:

Traducido al español, corresponde a *cadena de bloques* y su funcionalidad principal es la protección inmediata de los datos almacenados digitalmente impidiendo su manipulación; cada modificación deja una huella virtual trazable que genera confianza entre los involucrados, además de no ser vulnerable al hackeo informático.

La información que necesita ser protegida se sube a un servidor a través de un proveedor de *blockchain* generando un código único que almacena el nombre, fecha, hora y cambios realizados, entre otros datos, cada vez que alguien, con autorización, realiza alguna modificación.

Aplicado a la seguridad y salud en el trabajo, es una herramienta que genera relaciones de confianza con, por ejemplo, proveedores involucrados en tareas críticas como el mantenimiento [15]. Detallando un caso, sería el de una organización que realiza cortes a placas de acero con plasma y delega el mantenimiento del equipo en un proveedor que registra los datos de seguimiento, cambio de piezas e intervenciones con *blockchain* en un archivo que comparte con la organización, quien también ingresa información del equipo, como horas de trabajo; de esta forma, todos obtienen la información fidedigna, trazable en tiempo real.

Los modelos de trabajo actuales permiten un ejercicio remoto de las tareas, otorgando una mayor autonomía y flexibilidad, pero también una inclusión de población vulnerable o en alguna condición de discapacidad. Ello implica que exista una digitalización importante de la información que debe ser protegida sobre todo ante riesgos de ciberseguridad, que implican una afectación psicológica a los trabajadores que las ejecutan, sumado a horarios irregulares y a la reducción de la interacción social [18]. El uso de *blockchain* podrá, cuando menos, garantizar que la introducción de los elementos que se han abordado antes y los que se mencionarán más adelante se realicen de forma segura: los dispositivos de monitoreo que usan IoT, el *big data*, los drones y los gemelos digitales, por ejemplo, necesitan protección en el manejo de la información.

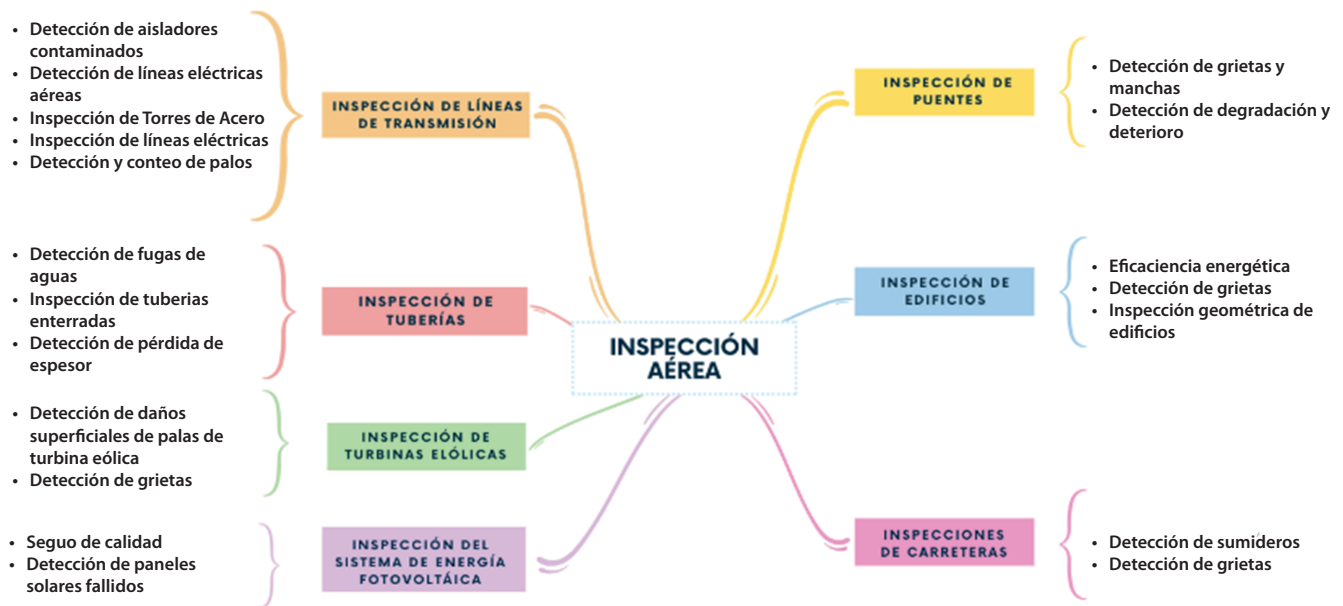
Drones:

Es básicamente un vehículo no tripulado; si bien el concepto se hizo popular con los drones aéreos, es en realidad válido usarlo también para vehículos terrestres [7]. La funcionalidad por control remoto, el tamaño de los dispositivos y la posibilidad de dotarlos con cámaras o sensores de reporte en tiempo real permiten que los drones sean una de las herramientas más útiles en la prevención de riesgos laborales, puesto que se ingresan anticipadamente a los entornos nocivos para validar las condiciones en las que el trabajador tendrá que operar y establecer si son seguras o no, incluso ayudan a realizar una mejor planificación de las tareas. Según lo reportado en la revista *Drones*, hasta antes de 2014, aproximadamente el 45 % del mercado de los sistemas aéreos no tripulados se utilizaba en sectores como la inspección y el monitoreo de la infraestructura eléctrica, la planificación urbana y el monitoreo de edificios, la verificación en sitios de importancia arqueológica y cultural, petróleo, gas, construcción, minería, agricultura e incluso en torres de telecomunicaciones [19]. La figura 1 muestra las utilidades recientes de los drones aéreos:

Las inspecciones suelen ser una de las herramientas de identificación de peligros principales; se confía en su resultado para iniciar o para continuar el desarrollo de una actividad considerada de alto riesgo en condiciones entendidas como seguras. Su realización por parte de drones no solo reduce la exposición peligrosa, sino también el error humano. Nooralishani *et al.* enuncian en su artículo que la flexibilidad de maniobra de los drones facilita el acceso a áreas difíciles, remotas, proporcionando una mayor confianza en los resultados [19].

Actualmente, se involucra a los drones incluso en tareas básicas cuyo riesgo está aparentemente controlado, como la mensajería o paquetería. La distribución por drones implica menor movilización de los trabajadores y menor exposición a los accidentes de tránsito, por ejemplo, teniendo impacto también en las condiciones mentales del trabajador por el estrés al que se expone en el entorno vial.

Figura 1 . Aplicaciones de las inspecciones aéreas basadas en publicaciones recientes



Fuente: traducido de Nooralishani, P., Ibarra-Castanedo, C., Deane, S., López, F., Pant, S., Genest, M., et al. *Drone-Based Non-Destructive Inspection of Industrial Sites: A Review and Case Studies* [19].

Administrativamente, se usan en los inventarios de bodega para alcanzar sitios altos sin necesidad de elevar a un trabajador y exponerlo a caída de alturas; operativamente, se podrían enunciar usos como fumigadores de plaguicidas, buscadores de minas antipersona, desactivando explosivos, buscando supervivientes al interior de las ruinas de una catástrofe [20].

En otra perspectiva de seguridad, los drones se están utilizando en combinación con la Inteligencia Artificial (AI) para cuestiones de seguridad [21], en ciudades inteligentes, incluso se adicionan criterios de IoT y *blockchain* [21]. Se vigilan las condiciones públicas para un reporte en centrales de reacción inmediata y se garantiza que se tiene el control del artefacto a través de cadenas seguras de transmisión que no pueden ser interferidas vía *bluetooth* o wifi, por ejemplo.

Tecnología NFC:

Los reconocidos circuitos de aproximación (NFC, del inglés *Near Field Communication*) son otra herramienta que se utiliza como mecanismo de

prevención. Si el tablero de mando no identifica la proximidad del trabajador, no permite la activación de la máquina. El dispositivo suele instalarse en el carné de identificación del operario autorizado [22], aunque en los vehículos también se ha popularizado el uso de la tecnología NFC a través de las llaves de proximidad, que solo permiten la apertura del vehículo cuando la llave se encuentra a una distancia inferior a un metro, aproximadamente.

Cuenta con seguridad suficiente para que un circuito de NFC no se parezca a otro y puedan generarse confusiones de lectura durante una aproximación. Si bien no es una tecnología reciente, sí se ha ido incrementando su uso en el área de la seguridad y salud en el trabajo. Según Kumar, desde el año 2003, que emergió este tipo de tecnología, se le han dado múltiples asignaciones en el campo médico y, si se quiere decir, de seguridad en el trabajo; un uso a mencionar es el uso de las etiquetas en brazaletes en las cuales se puede almacenar información relevante y actualizada del paciente, como, por ejemplo, las posibles alergias y otro historial médico de relevancia [23]. Esta aplicación cobra una mayor relevancia si se piensa en trabajadores en locaciones

remotas ejecutando tareas de alto riesgo o en el caso de organizaciones con gran cantidad de trabajadores por locación donde se necesita la información con acceso inmediato para mejorar la atención.

Si bien Kumar aborda la tecnología NFC desde su aplicación en librerías en temáticas como el control de inventarios, también enuncia la opción de compartir contenido adicional con los lectores [23]; podría entonces interpolarse en el campo de la seguridad y salud en el trabajo en situaciones como el inventario de elementos de protección personal para trabajo seguro en alturas, donde se debe controlar la inspección y el estado de vigencia del arnés y las eslingas, por enunciar algunos. Una etiqueta NFC permitiría acceder a consultar dichos datos y, con los permisos apropiados, actualizar los resultados de verificación.

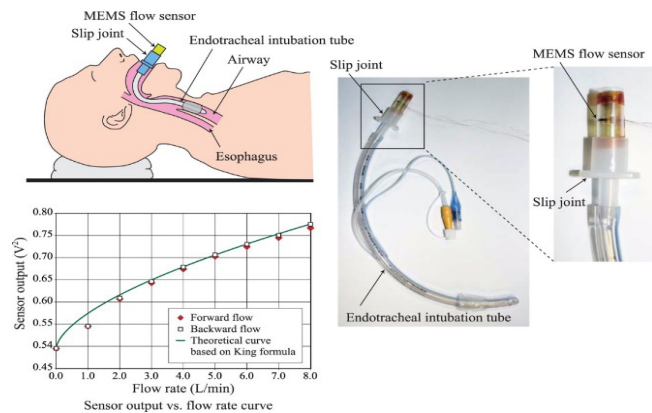
Nano y microelectrónica:

Se trata de la miniaturización de los componentes electrónicos, muy similar a la tecnología *wearable* ya enunciada; la diferencia es que no busca que el trabajador la porte, sino mejor instalarla en la maquinaria, los equipos y la infraestructura para optimizar los espacios y mejorar las funcionalidades [11]. Hay, por ejemplo, algunas actividades en áreas confinadas donde las tareas deben realizarse de forma manual porque el equipo no ingresa al espacio de trabajo; es allí donde la reducción del tamaño de los chips o las tarjetas de programación facilitan el acceso a espacios reducidos. Estas tarjetas son técnicamente denominadas *Micro-Electro-Mechanical Systems* (MEMS) y son cada vez más utilizadas en maquinaria y equipos buscando hacerlos más pequeños o livianos, facilitando su uso y reduciendo los impactos en el trabajador.

Desde el ámbito investigativo, los mayores avances de esta tecnología se encuentran en el campo médico, donde los MEMS han sido instalados, por ejemplo, al final de los tubos de intubación traqueal con la intención de que genere un registro con el paso del aire, evitando un posible error de ubicación en el esófago, donde no habría presencia de aire respirable [24]. La figura 2 evidencia la correcta colocación del tubo, su presentación, la ubicación del sensor y el

comportamiento del flujo de aire tras su colocación, evidenciando la funcionalidad del MEMS. Desde la perspectiva de la atención prehospitalaria, se trata de una herramienta que salva vidas y da garantías al paramédico.

Figura 2. Sensor de flujo MEMS integrado en un tubo de intubación traqueal de tamaño adulto.



Fuente: M. Shikida et al.

Gemelos digitales:

En esta tecnología, se busca replicar virtualmente un escenario para proceder a su intervención, identificando las posibles consecuencias o variables que pueden ocasionarse, buscando el éxito de la tarea en el espacio digital para luego reproducir o desarrollar ese modelo en la vida real [11]. Excede los espacios de simulación por cuanto se usa para abordar realidades “inexploradas”; es necesario alimentar esta tecnología con gran cantidad de datos reales para que su proyección de los cambios sea ajustada a las circunstancias que se encontrarán durante su reproducción. Es una herramienta no muy utilizada aún en la seguridad y salud en el trabajo, pero puede ampliarse una vez se incrementen los casos de éxito.

El uso más reconocido es en el contexto médico, donde, a partir de los datos del gemelo físico (PT, por sus siglas del inglés *Physical Twin*) se estructura a un gemelo digital (DT, por sus siglas del inglés *Digital Twin*) completamente sincronizado en un bucle cerrado (DT-PT). Un órgano como el corazón, por ejemplo, se proyecta con todo y su nivel de deterioro para ser intervenido durante una cirugía, en la cual

el médico puede planificar las acciones a desarrollar con sus posibles consecuencias, teniendo además, durante el proceso, actualizaciones autónomas que incrementan las posibilidades de tener éxito [25]. No obstante, en temas aeronáuticos y automotrices también ha tenido aplicación destacada con múltiples ventajas, como la detección de fallas o el mejoramiento de los mantenimientos incluso [26].

En la industria minera, por ejemplo, se deberían incluir en el *software* del gemelo digital toda la información del tipo de suelo, el área, las condiciones de explotación y todas las variables disponibles. Una vez construido, se inician las simulaciones de excavación del socavón para que el gemelo digital prediga los posibles resultados, entre los que podrían contarse la posibilidad de colapso o la pérdida de oxígeno respirable en cada profundidad.

Evidentemente, existen múltiples combinaciones de las tecnologías enunciadas que pueden realizarse para mejorar las funcionalidades; por ejemplo, los exoesqueletos han sido utilizados en combinación con la realidad virtual para facilitar los procesos de rehabilitación, tal como se enuncia en el artículo de *Scientific Reports*, donde se establece la recuperación de pacientes con lesiones medulares cuyo cerebro se estimula a través de la realidad virtual (RV) y físicamente se logra la movilidad con el uso de exoesqueletos hasta la recuperación casi total del paciente [27].

A pesar de pertenecer a la 4RI, estos avances llevan años trabajándose y mejorándose en todo el mundo, al punto que incluso varias empresas dedicadas a la protección de los trabajadores han diseñado sus propios dispositivos, de acuerdo a lo enunciado en la revista *Advance Intelligent Systems* en el artículo “Tendencias en tecnologías portátiles en el lugar de trabajo y trabajadores conectados para la próxima generación de seguridad ocupacional, salud y productividad”; en dicho artículo, se incluye una tabla en la cual se referencia a las marcas Bioservo, Equivital, Guard Hat, Ripple Safety, entre otras, con un ejemplo de sus productos, componentes y aplicaciones en la seguridad [6], del cual se obtiene el siguiente extracto:

Tabla 1. Ejemplos de dispositivos portables para el monitoreo de la seguridad de los trabajadores

Compañía	Componentes	Aplicaciones de seguridad
Bioservo	Guante con Sensores de presión de procesador integrado de cinco dedos, actuador y batería.	Fortalecer la acción de agarre y agarre; ajustar la fuerza aplicada y el equilibrio entre los dedos.
Equivital	Dispositivo de pecho con Sensores de actividad, postura, frecuencia cardíaca, frecuencia respiratoria y temperatura corporal central.	Monitoreo humano móvil; Observaciones de salud y seguridad 24 horas al día, 7 días a la semana, en entornos extremos.
Guard Hat	Cascos con Sensores de ruido, gas, temperatura y presión; integración a sensores externos.	Conciencia situacional en tiempo real y monitor de ubicación; funciones de audio y video.
Kenzen	Parches con biosensores de frecuencia cardíaca, sudor, temperatura, actividad.	Informes en tiempo real de indicadores de estrés por calor; evaluación del calor en el lugar de trabajo; formación y consulta.
Kinetic	Cinturón inteligente con unidades de medición inercial, sistema de alerta.	Detecta flexiones, torsiones y estirones de alto riesgo.
Levitare	Exoesqueleto; Sistema de soporte mecánico, impulsado por poleas, sin energía eléctrica.	Distribuir el peso de la parte superior del cuerpo; reducir la fatiga y el estrés muscular.
Ripple Safety	Botón de seguridad con acceso a funciones del teléfono móvil, conectividad Bluetooth y baterías de litio.	Envía alertas y datos de ubicación, presiona botones únicos para respuestas de emergencia o que no sean de emergencia.
Scan – Link	Sistema RFID con etiquetas RFID, pantalla, alarma externa, antena (865 a 927 MHz, alcance de 20 pies).	Alertar al conductor sobre la presencia de trabajadores en tierra para prevenir colisiones y lesiones personales.

Fuentes: *Elaboración propia con base en la referencia [4].*

Nota: la información es una extracción y traducción del apartado 3 del artículo científico de referencia.

Con respecto a las proyecciones futuras, la Universidad Nacional manifiesta que los países latinos se han dedicado a adquirir tecnología ya desarrollada y no a generar la propia, llamándolos incluso consumidores de “cacharros”, mostrando así la imperiosa necesidad de generar innovación e investigación en el país [28]. Por ahora, la salida parece ser el consumo de innovaciones ya disponibles.

Según información recolectada de diferentes fuentes por la Fundación Movistar, la pandemia del COVID-19 en 2020 incrementó el tráfico de internet en el país en un 38,8 %, pero también evidenció que en las zonas rurales solo el 17 % tiene internet y computador, además de un número mayor a 20.000.000 de personas que no tienen acceso a internet de banda ancha [29]. Estas limitantes evidencian que la perspectiva de la Universidad Nacional es real y, aunque hay demanda por investigación e innovación en el país, la brecha de acceso a conectividad de calidad deja a Colombia prácticamente por fuera de la carrera por la innovación tecnológica y no solo la aplicada a la seguridad y salud en el trabajo, sino la innovación en general. No obstante, la Superintendencia de Industria y Comercio es mucho más optimista tras recibir el 29 de abril de 2023 el reporte del Global Innovation Index 2022 lanzado por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) al valorar varias economías mundiales con respecto a su capacidad de innovación, en el cual Colombia ostenta el lugar 63 de entre 132 países evaluados, escalando incluso 4 posiciones con respecto a los resultados del año anterior [30]. Si bien el posicionamiento es en la segunda mitad de los evaluados, es interesante reconocer que se mejoró con respecto a periodos previos, pudiendo inferir que hay un interés creciente en los procesos de evolución tecnológica, sea en seguridad y salud en el trabajo o en cualquier otro campo.

Es válido concluir que el mayor reto que las tecnologías parecen afrontar puede ser encasillado en la durabilidad de las baterías, la conectividad intermitente para los dispositivos que dependen del IoT (*Internet of Things*), la interoperabilidad que se dificulta por los sistemas operativos de los diferentes dispositivos, la seguridad de la información y las redes disponibles; todas ellas están siendo atendidas y en cada nueva edición de las tecnologías se evidencia la mejora, sin quedar aún resuelto ninguno de los inconvenientes.

Ahora bien, el paso de la revolución 4.0 a la 5.0 parece centrarse en la interacción de hombre-máquina, debido al criterio de creatividad que no puede ser reemplazado por la tecnología inteligente, pero que tiene absoluta relevancia para alcanzar su más alto potencial.

4. Conclusiones

Las organizaciones requieren con urgencia mejorar sus niveles de productividad, pero en el camino pueden descuidar el deber de protección que la normatividad colombiana les otorga para con sus trabajadores, esa obligación de proteger la salud y la seguridad de todos sus colaboradores, visitantes e incluso proveedores o clientes que ingresan a sus instalaciones. La tecnología actualmente disponible favorece el desarrollo de esas actividades con un enfoque preventivo generando mayor confianza en su ejecución.

Existen como mínimo 9 tipos de herramientas tecnológicas desarrolladas con el objetivo de hacer monitoreo, proveer fuerza, identificar posición, analizar datos, arrojar predicciones, reducir tamaño, detectar presencia de riesgos, entre otros que están siendo utilizados de forma independiente o combinada, y que, en la mayoría de los escenarios, tienen requerimientos de conectividad asociados al IoT (*Internet of Things*), por lo cual es importante contar con altos niveles de seguridad en las redes que, adicionalmente, deberían proveer calidad 5G para la transmisibilidad de los datos.

Es difícil identificar la tecnología asociada a la seguridad y salud en el trabajo que se haya podido desarrollar en Colombia. No existe un repositorio estadístico o una línea de información que cuantifique o liste los datos, sin embargo, sí se puede hacer un rastreo a la cantidad de patentes solicitadas, la creación de documentos científicos y los modelos de utilidad. Con estos datos, se realiza el informe de la Superintendencia de Industria y Comercio respecto al *ranking* de innovación, reconociendo para Colombia el puesto 63 de 132 con escalamiento de 4 posiciones respecto al año anterior, entendiendo que existen mejoras, un incremento del interés por la Investigación y Desarrollo (I+D) y un creciente apoyo general por la innovación.

5. Referencias

- [1] Martínez, H. E. *El proceso de investigación científica en la universidad*. Valledupar: Fundación Élite; 2010.

- [2] Martínez, H. E., Salcedo, J. D., Romero, A. "Observation as a research technique. (reflections, types, recommendations and examples)". *Russian Law Journal*. 2022; X(4). DOI: <https://doi.org/10.52783/rlj.v10i4.4348>
- [3] ESG Innova Group. "Innovaciones y tecnologías en SST usadas hoy" [Internet]. Blog especializado en seguridad y salud en el trabajo. 2023 [citado el 7 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.nueva-iso-45001.com/2023/06/innovaciones-y-tecnologias-en-sst-usadas-hoy/>
- [4] Segure Chubb Cyber. "4 tecnologías para mejorar la seguridad en los espacios de trabajo" [Internet]. *Chubb*. 2021 [citado el 7 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.chubb.com/co-es/pymes/articulos/4-tecnologias-para-mejorar-la-seguridad-en-los-espacios-de-trabajo.html>
- [5] Geseme News. "Avances tecnológicos en seguridad y salud en el trabajo: sensores" [Internet]. *Geseme*. 2022 [citado el 7 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://geseme.com/avances-tecnologicos-en-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-sensores/>
- [6] Patel, V., Chesmore, A., Legner, C., Pandey, S. "Trends in Workplace Wearable Technologies and Connected-Worker Solutions for Next-Generation Occupational Safety, Health, and Productivity". *Advanced Intelligent Systems*. Enero de 2021; 4(1).
- [7] GCF Global. ¿Qué es "wearable"? [Internet]. GCF Global org. [citado el 7 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://edu.gcfglobal.org/es/informatica-basica/que-es-wearable/1/>
- [8] Lemos, J., Gaspar, P., Lima, T. "Environmental Risk Assessment and Management in Industry 4.0: A Review of Technologies and Trends". *Machines*. 17 de agosto de 2022; 10(8).
- [9] Samaniego, J. F. "Cascos conectados y sensores de movimiento: la industria 4.0 también es seguridad laboral" [Internet]. Hablemos de Empresas. 2019 [citado el 8 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://hablemosdeempresas.com/grandes-empresas/iot-y-seguridad-laboral/#:~:text=La%20tecnolog%C3%ADa%20IoT%20es%20la,IoT%20and%20AI%20can%20help%27.>
- [10] Campero-Jurado, I., Márquez-Sánchez, S., Quintanar-Gómez, J., Rodríguez, S., Corchado, J. "Smart Helmet 5.0 for Industrial Internet of Things Using Artificial Intelligence". *Sensors* (Basel, Switzerland). 1 de noviembre de 2020; 20(21).
- [11] Custodio, Á., Báez, C., Del Trabajo, M., Felipe, A., Medina, U., Liliana, M., et al. *Previsión del impacto de la automatización y de las tecnologías de la Cuarta Revolución Industrial (4RI) en el mercado de trabajo colombiano*. Bogotá; 2021.
- [12] Martínez Gómez, F. "El papel de la tecnología en prevención de riesgos laborales" [Internet]. *ProLaboral*. 2022 [citado el 7 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.prolaboral.com/es/blog/el-papel-de-la-tecnologia-en-prevencion-de-riesgos-laborales.html>
- [13] American Society for Testing and Materials. "El Centro de Excelencia de Exotecnología de ASTM International anuncia la primera ronda de proyectos de investigación para la formulación de estándares" [Internet]. *Standardization News*. 2020 [citado el 8 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://sn.astm.org/esp/outreach/el-centro-de-excelencia-de-exotecnologia-de-astm-international-anuncia-la-primeira-ronda-de>
- [14] Freire, N. "¿En qué se diferencian la realidad aumentada y la realidad virtual?". [Internet]. *National Geographic España*. 2024 [citado el 18 de abril de 2024]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com/es/ciencia/que-se-diferencian-realidad-aumentada-y-realidad-virtual_21204#:~:text=Por%20ejemplo%2C%20la%20realidad%20aumentada,por%20ordenador%20de%20forma%20artificial.
- [15] Confederación Regional de Organizaciones Empresariales de Murcia. *Nuevas tecnologías aplicadas a la prevención de riesgos laborales*.
- [16] Paz Muñoz, W. *La implementación de tecnología como herramienta innovadora en la seguridad y salud en el trabajo*. Universidad Militar Nueva Granada; 2021.
- [17] IBM. "What is IoT with blockchain?". [Internet]. IBM [citado el 7 de marzo de 2024]. Disponible en: https://www.ibm.com/topics/blockchain-iot?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=IoT

- [18] Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. *Digitalización y seguridad y salud en el trabajo. Un programa de investigación de la EU-OSHA* [Internet]. Santiago de Compostela; 2020 [citado el 20 de abril de 2024]. Disponible en: https://osha.europa.eu/sites/default/files/Digitalisation_and_OSH_ES.pdf
- [19] Nooralishani, P., Ibarra-Castanedo, C., Deane, S., López, F., Pant, S., Genest, M., et al. "Drone-Based Non-Destructive Inspection of Industrial Sites: A Review and Case Studies". *Drones*. 29 de septiembre de 2021; 5(4).
- [20] Tropiano, Y., Noguera, A. "Los efectos nocivos de la tecnología en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo". *Cielo Laboral*. 2020; 3.
- [21] Rawat, B., Singh-Bist, A., Apriani, D., Permadi, N. I., Nebila, E. A. "AI Based Drones for Security Concerns in Smart Cities". *APTISI Transactions on Management (ATM)*. 27 de enero de 2022; 7(2): 122-7.
- [22] Gerber, A., Romeo, J. "Connecting all the things in the Internet of Things" [Internet]. IBM. 2017 [citado el 7 de marzo de 2024]. Disponible en: https://developer.ibm.com/articles/iot-lp101-connectivity-network-protocols/?mhsrc=ibmsearch_a&mhq=IoT
- [23] Kumar, N. "Near-field Communication (NFC). An Alternative to RFID in Libraries". *Information Technology and Libraries*. 10 de junio de 2020.
- [24] Shikida, M., Hasegawa, Y., Salman-Al-Farisi, M., Matsushima, M., Kawabe, T. "Advancements in MEMS technology for medical applications: micro-needles and miniaturized sensors". *Jpn J Appl Phys*. 15 de diciembre de 2021; 61(SA0803).
- [25] Evers, K., Salles, A. "Desafíos epistémicos de los gemelos digitales y los cerebros virtuales: perspectivas desde la neuroética fundamental". *SCIO Revista de Filosofía*. 20 de octubre de 2021; 21.
- [26] Varas, M., García, J. C., Bustamante, M., Bustamante, C. "Gemelos digitales y su evolución en la industria". *Recimundo* [Internet]. 10 de noviembre de 2020 [citado el 20 de abril de 2024]; 300-8. Disponible en: <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/953>
- [27] Donati, A., Shokur, S., Morya, E. "Long-Term Training with a Brain-Machine Interface-Based Gait Protocol Induces Partial Neurological Recovery in Paraplegic Patients". *SCI*. 4 de julio de 2016; 6(30383).
- [28] Puentes-Lagos, D. E., García-Acosta, G. "Tecnología y pensamiento futuro del trabajo desde la ergonomía en momentos de crisis global". *Salud Pública*. 26 de mayo de 2011; 14(1): 122-37.
- [29] Fundación Telefónica Movistar. "Del metaverso y otras tecnologías: cómo estamos en Colombia" [Internet]. *Tendencias tecnológicas en Colombia, para este 2022*. 2022 [citado el 8 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.fundaciontelefonica.co/noticias/tendencias-tecnologicas-en-colombia-para-este-2022/>
- [30] Ramírez Orozco, M. "Colombia en ascenso en el ranking de innovación" [Internet]. *Ruta PI*. 2022 [citado el 8 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.sic.gov.co/ruta-pi/octubre-2022/editorial-pi/colombia-en-ascenso-en-el-ranking-de-innovacion>

Consentimiento de publicación

La autora leyó y aprobó el manuscrito final.

Conflicto de interés

La autora declara no tener conflicto de interés. Este documento solo refleja sus puntos de vista y no el de la institución a la que pertenece.

Olga Clemencia Ramírez Ramírez

Magíster en Sistemas Integrados de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales, la Calidad, el Medio Ambiente y la Responsabilidad Social Corporativa. Especialista en Gerencia de la Salud Ocupacional. Especialista tecnológico en Gestión del Talento Humano por Competencias. Ingeniero ambiental.

Docente tiempo completo. olgaramirez@unitec.edu.co Dirección de correspondencia: Carrera 36a #20-17 Nuevo Alvernia – Tuluá – Valle del Cauca.