

Gestión de la salud y la seguridad en el trabajo y las aplicaciones del Internet de las cosas

Occupational Health and Safety Management and Applications of Internet of Things

María Claudia Bonfante Rodríguez¹ <https://orcid.org/0000-0002-7884-6482>

Cielo Ester Marriaga González¹ <https://orcid.org/0000-0003-3176-0988>

Jorge Mesa Vazquez^{2*} <https://orcid.org/0000-0001-7457-5323>

Pedro Salgado Bustillo³ <https://orcid.org/0000-0002-7241-6705>

Jaime Eduardo González Díaz⁴ <https://orcid.org/0000-0002-9441-5543>

¹Universidad del Sinú, Escuela Ingeniería de Sistemas. Cartagena, Colombia.

²Universidad del Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

³Universidad del Sinú, Escuela de Derecho. Cartagena, Colombia.

⁴Universidad del Sinú, Escuela de Negocios Internacionales. Cartagena, Colombia.

*Autor para la correspondencia: jorge.mesa@uo.edu.cu

RESUMEN

Este trabajo realiza una revisión de literatura de las aplicaciones del Internet de las cosas, considerada una de las tecnologías 4.0 que puede ser empleada en la gestión de la salud y la seguridad en el trabajo, debido a su potencial para garantizar el bienestar del trabajador. Para lograr los objetivos y alcance planteados se aplicó una metodología estructurada en fases: 1) definición de las preguntas de investigación, 2) búsqueda de la información, 3) identificación de los criterios de inclusión y de exclusión, 4) evaluación del proceso de selección, 5) extracción y síntesis de datos. Como resultado se obtiene un listado de 30 contribuciones que indican el potencial de la tecnología del Internet de las cosas y la arquitectura necesaria para resolver los problemas que enfrentan los sectores

productivos a nivel global en este entorno. Por último, se discuten los principales beneficios, desafíos, las lecciones aprendidas y se extraen las conclusiones.

Palabras clave: salud laboral; internet de las cosas; salud y seguridad; riesgos ocupacionales.

ABSTRACT

This paper carries out a literature review of the applications of the Internet of Things, considered one of the 4.0 technologies that can be used in the management of health and safety at work, due to its potential to guarantee the well-being of the worker. To achieve the proposed objectives and scope, a methodology structured in phases was applied: 1) definition of the research questions, 2) search for information, 3) identification of the inclusion and exclusion criteria, 4) evaluation of the selection process, 5) data mining and synthesis. As a result, a list of 30 contributions was obtained indicating the potential of Internet of Things technology and the necessary architecture to solve the problems faced by productive sectors globally in this environment. Finally, the main benefits, challenges, lessons learned were discussed and conclusions were drawn.

Keywords: occupational health; internet of things; health and security; occupational risks.

Recibido: 25/07/2023

Aceptado: 19/02/2024

Introducción

La integración de las tecnologías 4.0 en el contexto laboral implica cambios en aspectos de la gestión empresarial, la organización del trabajo y los marcos regulatorios, por lo que constituye un desafío para la investigación.⁽¹⁾ A medida que se implementan cambios importantes en la industria, las tecnologías deben adaptarse adecuadamente al contexto del negocio en particular y proporcionar resultados legibles, rastreables, reproducibles y verificables. Un estudio⁽²⁾ presenta

las barreras y oportunidades que enfrentan las empresas al implementar estas tecnologías como: ganancias en términos de gestión de operaciones, innovación en los mercados globales, sostenibilidad y gestión de la cadena de suministro.

Otra contribución presenta un modelo para medir la madurez de la implementación de estas tecnologías en las empresas,⁽³⁾ cuyo nivel se mide a partir de la capacidad de estas para implementar recursos e impactar en la cadena de valor. Por otra parte, al resolver los desafíos relacionados con la Industria 4.0, es necesario mejorar la participación y los procesos de capacitación especializada de empleadores y empleados.⁽⁴⁾

Las tecnologías 4.0 en el sector de la fabricación se apoyan en las actividades de ensamblaje, mantenimiento, capacitación, control de la calidad, movimiento, operación de máquinas, diseño de productos y procesos, la planificación y el control de la producción,⁽⁵⁾ así como su contribución a la fabricación inteligente. Mientras que en el sector de la salud permiten mejorar la eficiencia y rapidez en el desempeño de los médicos, la exploración de datos, la optimización de recursos y la minimización del deterioro de la salud del paciente.⁽⁶⁾

Por otra parte, investigadores en Inteligencia Artificial (IA) imaginaron el concepto de “agentes integrados”, mediante los cuales los procesos sensoriales podrían desarrollarse computacionalmente; de esta manera, los procesos se convertirían en lo suficientemente pequeños para ser integrados, lo cual facilitaba la posibilidad del surgimiento de los llamados Entornos Inteligentes.⁽⁷⁾ Posteriormente, la industria se apresuró a reconocer el potencial de estas tecnologías e irrumpieron radicalmente el mercado, al ofrecer a los clientes servicios y productos que están siendo utilizados para resolver diferentes problemas y retos que demanda la vida actual. En medio de esta acelerada tendencia industrial existen muchas aplicaciones en diferentes sectores. Esto traerá nuevos cambios de paradigma, lo que repercutirá en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo.^(8,9) Por lo tanto, se debe garantizar, en primer lugar, el bienestar del trabajador, la prevención de accidentes y/o enfermedades que atenten su integridad.

A lo largo de los años ha existido una estimación alta, no solo de lesiones fatales en el lugar de trabajo, sino también de lesiones y enfermedades por sobreesfuerzo y contacto con objetos, equipos y maquinaria en el lugar de trabajo. En cuanto al

marco normativo, el riesgo laboral es considerado como la combinación de la probabilidad de que ocurra un evento peligroso o la exposición y la gravedad de una lesión o enfermedad,⁽⁹⁾ según normas internacionales como la ISO 45001.⁽¹⁰⁾

Para minimizar estos problemas las organizaciones deben implementar el Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), el cual tiene como objetivo principal controlar los riesgos laborales y la posibilidad de esta aplicación; los resultados que produce es un factor motivacional para las empresas,⁽¹¹⁾ lo que justifica el énfasis que los gobiernos hacen sobre la política y las regulaciones en la prevención, protección, mejora de la salud mental y física de los trabajadores, especialmente las condiciones de trabajo y su entorno a nivel global.

Debido a lo anterior, desde organizaciones como la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (EU-OSHA) y el Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) de Estados Unidos se promueve la cultura de prevención de riesgo mediante políticas, programas y prácticas que integran la protección contra los riesgos para la SST del trabajador.⁽¹²⁾

Un gran número de investigadores considera oportuno revisar cómo la tecnología de Internet de las Cosas (IoT) ofrece soluciones potenciales para la prevención y protección de accidentes y enfermedades laborales a nivel global. Dentro de las investigaciones relacionadas con este estudio, se encontró un análisis de la literatura que examina el impacto del Internet de las cosas en el bienestar laboral, y propone una taxonomía de conceptos para guiar investigaciones futuras.⁽¹³⁾ Además, se identificó un trabajo que ofrece una revisión y sistematización del concepto y las tecnologías fundamentales en el ámbito de "Petróleo y gas 4.0", tales como el *big data* y el Internet de las cosas.⁽¹⁴⁾ Otro campo laboral que muestra mayores riesgos es la construcción, dado que con frecuencia ocurren accidentes de seguridad y lesiones personales, tal como se señala en la revisión sistemática de trabajos para identificar los estados actuales y las tendencias futuras en el SST en la construcción⁽¹⁵⁾

El marco europeo se constituye en una de las áreas con mayor potencial de integración de la industria 4.0, lo cual se debe al impacto positivo del uso de sensores en equipos de construcción y dispositivos portátiles.⁽¹⁶⁾ En el estudio de Tabatabaee y otros⁽¹⁷⁾ se señala que esto puede convertirse en una barrera

significativa, debido a que puede disminuir la productividad del trabajador, ya que las deficiencias en la gestión de riesgos, problemas con las condiciones de los materiales y la inadecuada instrucción a un trabajador en una zona de riesgo son causas de accidentes.

A pesar de que se han propuesto diversas estrategias preventivas, como la formación, medidas colectivas, equipos de protección personal y señales de seguridad, entre otras, estas no siempre son suficientes para evitar todos los accidentes. Es importante destacar que, en comparación con la industria de la fabricación, el sector de la gestión de la salud y la seguridad en el trabajo ha mostrado una adaptación más lenta a las nuevas tecnologías. Sin embargo, se espera que los avances actuales en la implementación de tecnologías avanzadas mejoren esta tendencia en el futuro.⁽¹⁸⁾

El IoT muestra diferentes usos y aplicaciones para controlar el hogar, los negocios, las fábricas, industrias y ciudades, esta propuesta ha sido planteada por Salah y otros autores en diversos estudios.⁽¹⁹⁾ Asimismo, puede emplearse para entender y monitorear entornos de trabajo potencialmente peligrosos, el seguimiento de indicadores del estado físico y las condiciones emocionales de empleados que manifiestan signos de posibles anomalías repentinas como: infarto, caídas o cambios graduales en los niveles de estrés que, al presentarse, tienden a afectar su desempeño. Celik y otros⁽²⁰⁾ resaltan la importancia del Internet de los cuerpos (IoB), como una extensión del IoT, donde los dispositivos interconectados pueden habilitar una gran cantidad de servicios y aplicaciones para una amplia gama de sectores, que incluyen medicina, seguridad, bienestar, entretenimiento, por mencionar solo algunos. Especialmente, considerando la reciente crisis económica y de salud causada por la pandemia del COVID-19, el IoB puede revolucionar la infraestructura de seguridad y salud pública actual.

En correspondencia con lo anterior, se puede señalar que el profesional encargado de la SST deberá asumir un rol transformador y aportar conocimientos, habilidades y capacidades que promuevan la integración tecnologías 4.0, materializando una verdadera gestión.⁽²¹⁾ De igual relevancia, están las investigaciones de Khan y Khalid,⁽²²⁾ los cuales abordan las expectativas y preocupaciones de gerentes de tres países: Alemania, Reino Unido y España, con respecto al monitoreo de

trabajadores basado en sensores. Los datos de este estudio confirman la relevancia de las expectativas con respecto a las mejoras en el diseño del lugar de trabajo y el bienestar de los empleados, así como también existen preocupaciones acerca de las restricciones de privacidad y soberanía de estos; lo cual finalmente puede significar una barrera para la aceptación del monitoreo en los lugares de trabajo.

Este artículo aborda una revisión de literatura entorno al impacto de la integración de la Industria 4.0 y, en especial, la tecnología IoT que inciden en el bienestar laboral de los trabajadores; analiza aportes científicos sobre la implementación, arquitectura y aspectos inherentes a la salud física y psicológica de estos.

Métodos

Se adoptó un enfoque sistemático en la exploración de la literatura desarrollado por Kitchenham y otros,⁽²³⁾ los cuales proponen cinco fases: 1) definición de preguntas de investigación, 2) búsqueda de información, 3) identificación de criterios de inclusión y de exclusión, 4) evaluación del proceso de selección y 5) extracción y síntesis de datos.

En primer lugar, se definen las siguientes preguntas de investigación que demuestran la declaración explícita que los autores intentan dar respuesta en el estudio:

- Q1: ¿Cuáles son las contribuciones significativas de la tecnología IoT en los sectores que a nivel global lo han implementado en SST y cómo impacta en el bienestar de los trabajadores?
- Q2: ¿Cuáles son los componentes de la arquitectura IoT, implementados en la gestión de la salud y seguridad en el trabajo?

En la fase de búsqueda de información se propone realizar una consulta automatizada haciendo uso de descriptores palabras clave en inglés para cada una de las preguntas de investigación formuladas en la primera fase, para ello se

construyen cadenas de búsqueda para cada pregunta de investigación, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1 - Cadenas de búsqueda para las preguntas de investigación

Pregunta	Cadena de búsqueda
Q1	CB-1: "Internet of Things" or "IoT" or "Sensors" and "health and safety" or "safety and health" and "workplace"
Q2	CB-2: "Internet of Things" or "IoT" or "Sensors" and "health and safety" or "safety and health" and "architecture"

Fuente: Elaboración propia.

Como motor de búsqueda se seleccionaron bases de datos propietarias como Scopus, Web of Science, ScienceDirect e IEEE; el resultado inicial para cada una de las cadenas de búsqueda en diferentes fuentes y años se observan en la tabla 2.

Tabla 2 - Resultado de las cadenas de búsquedas

Base de datos	CB-1	CB-2
Scopus	128	43
Web of Science	48	35
Science Direct	55	67
IEEE	15	40

Fuente: Elaboración propia.

En la fase de identificación de criterios de inclusión y de exclusión se estableció incluir artículos de revistas indexadas y de conferencia que correspondieran al período 2016 al 2022; se obtuvo la información de la tabla 3.

Tabla 3 - Evaluación del proceso de selección

Base de datos	CB 1	CB 2

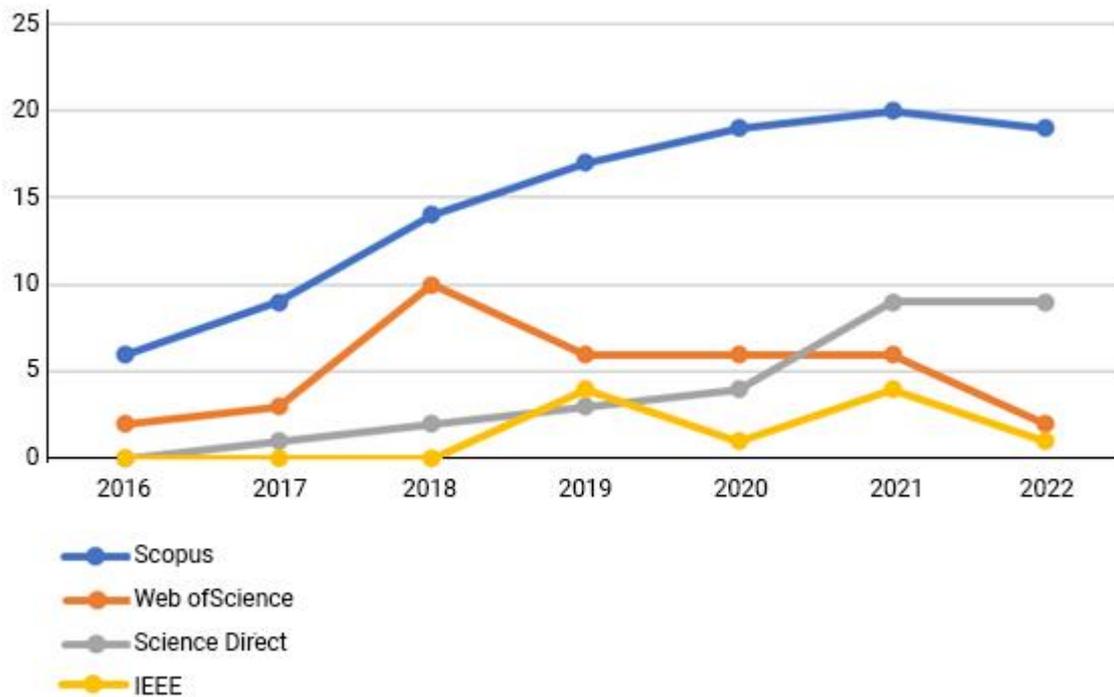
Scopus	40	24
Web of Science	35	28
Science Direct	28	33
IEEE	10	37

Fuente: Elaboración propia.

Luego de la eliminación de los trabajos duplicados, en la cuarta etapa, se realizó la revisión y análisis selectivo-crítico de un conjunto 30 trabajos de los últimos siete años (2016 al 2022); se estableció que la selección tuviera relación directa con la pregunta de investigación a través del título, las palabras claves o el resumen; publicaciones en habla inglesa y acceso completo a la información contenida, lo cual permitió construir los resultados, identificando autores, sector o área de aplicación, problemática abordada en el SST y los dispositivos empleados. Posteriormente, se revisan los escenarios de aplicación, se discutieron las expectativas y barreras de aplicación y se identificaron los desafíos derivados del advenimiento de esta tecnología. Como conclusión se describen las lecciones aprendidas.

Resultados

Al realizar la búsqueda en la base de datos, se observó que los resultados arrojados con respecto a la producción científica sobre implementación del IoT en el SST durante el período de evaluación presentó una variación anual en las bases de datos consultadas, por lo que se puede afirmar que esta tecnología comienza a generar interés dentro del campo objeto el campo estudio desde el 2017 a la fecha, como se muestra en la figura 1.



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 1 – Producción científica anual.

Para dar respuesta a la primera investigación formulada en la tabla 4 se describen las contribuciones relacionadas con el monitoreo de trabajadores del sector minero, donde la red de sensores es utilizada para la operación remota y la automatización, incluyendo vehículos sin conductor y exploración. Los operadores de las minas son especialmente vulnerables a los gases tóxicos y a los cambios en las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad. Se han creado varios dispositivos de generación de alertas, algunos de ellos implantados en las minas. Los sistemas de generación de alertas existentes son ineficaces para proteger y salvar la vida de los trabajadores contra las enfermedades pulmonares; tampoco se pueden desconocer los eventos relacionados con la salud del trabajador que ocurren en tiempo real, como la asfixia, las fluctuaciones del ritmo cardíaco y otros.

Tabla 4 - Aplicaciones de la tecnología IoT en el sector Minero

Autor (es)	Descripción
Wan y Muhammad ⁽²⁴⁾	Monitoreo de gas de alto nivel y de localización subterránea

Madahana, Nyandoro, Ekoru ⁽²⁵⁾	Transmisión de información desde el subsuelo a la superficie.
Jacksha, Raj ⁽²⁶⁾	Sistema IoT para optimizar la seguridad de los trabajadores
Sinha ⁽²⁷⁾	Herramienta de monitoreo para mitigar los peligros en minas
Rob, Sharifuzzaman ⁽²⁸⁾	Digitalización de minas
Jha, Verburg, Tukkaraja ⁽²⁹⁾	Monitoreo atmosférico en tiempo real para guiar la ruta a la salida.
Adjiski, Despodov, Mirakovski, Serafimovski ⁽³⁰⁾	Controlar la exposición a elementos nocivos y proximidad a zonas de peligro
Singh, Kumar, Chaudhary, Kaluri, Lakshmana ⁽³¹⁾	Sistema de vigilancia en tiempo real

Fuente: Elaboración propia.

En el sector de la energía, el petróleo y el gas se aplica una variedad de procesos y operaciones que podrían conducir a situaciones que pueden causar daños al medio ambiente y pérdida de vidas humanas, por lo que se distingue el creciente interés por las aplicaciones basadas en IoT.

La tabla 5 describe las aplicaciones en el sector de la construcción. Estos trabajadores se enfrentan a entornos desafiantes física- y mentalmente, donde se experimentan altos niveles de fatiga, principal causa de accidentes y enfermedades laborales. La tabla 6 describe las aplicaciones en el sector industrial y organizacional.

Tabla 6 - Aplicaciones de la tecnología IoT en el sector construcción

Autor (es)	Descripción
Yang, Yu, Shirowzhan, Li ⁽³²⁾	Sistema para alertar la falta de elementos de protección personal.
Thirugnanasammandamoorthi, Choi ⁽³³⁾	Dispositivos portátiles para la estimación de pose humana
Ramesh, Kumar, Khan, Kiran, Singh ⁽³⁴⁾	Verificar los niveles de gas en el sistema de drenaje.
Khan, Khalid, Anjum, Khan, Cho, Park ⁽²²⁾	Monitorear la seguridad en elevaciones en tiempo real
Seong, Park, Ahn, Kim ⁽³⁵⁾	Monitoreo de la fatiga

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6 - Aplicaciones de la tecnología IoT en el sector industrial y organizacional

Autor (es)	Descripción
Kaupins, Coco ⁽³⁶⁾	Monitoreo de la ubicación de los empleados y sus aspectos físicos
Marques, Pitarma ⁽³⁷⁾	Sistema de monitoreo de calidad ambiental
Rajmohan, Srinivasan ⁽³⁸⁾	Modelo de reducción de accidentes industriales
Madhuri, Qumer, Ullah ⁽³⁹⁾	Monitoreo y ubicación de niños que asisten a eventos públicos
Marques, Pitarma ⁽⁴⁰⁾	Sistema para el monitoreo del bienestar acústico
Thennakoon, Hewawasam, Wijesundara, Fernando, Gunawardena, Premachandra ⁽⁴¹⁾	Monitorear la limpieza baños públicos
Elangovan, Prakash ⁽⁴²⁾	Monitoreo de la temperatura corporal en el lugar de trabajo
Kajmakovic, Brillinger, Manfredi ⁽⁴³⁾	Evaluación del estrés de los trabajadores
Hinze, Bowen, König ⁽⁴⁴⁾	Monitoreo de trabajadores forestales y en exteriores
Márquez-Sánchez, Campero-Jurado, Herrera-Santos, Rodríguez, Corchado ⁽⁴⁵⁾	Elementos de protección personal que recopilan datos utilizando técnicas de IA
Kumar, Tauseef ⁽⁴⁶⁾	Monitorear la reparación de máquinas eléctricas (apagado y/o el arranque inesperado)
Nahid, Khan ⁽⁴⁷⁾	Áreas de trabajo que emplean productos químicos (industria textil)

Fuente: Elaboración propia.

La literatura revisada permite señalar que las aplicaciones de IoT a nivel global se han centrado en el monitorio del ambiente, al controlar variables como:

temperatura, gases tóxicos, nivel de radiación, dirección de vientos, humedad, fuego o humo, calidad del aire y contaminación ambiental,⁽⁴⁸⁾ entre otros. Para realizar el seguimiento a la salud en los lugares de trabajo se utilizan dispositivos electrónicos portátiles (camisetas, relojes, cinturones, cascos, brazaletes, gafas, zapatos) con sensores integrados para medir ritmos cardíacos, presión arterial, nivel de oxígeno, pulso, temperatura corporal, fatiga mental y estrés o estado anímico. Estos dispositivos permiten prevenir accidentes en el entorno laboral al evaluar la aceleración, ubicación o proximidad a zonas peligrosas y velocidad. En la figura 2 se muestran las variables que se pueden monitorear en cada aspecto principal de la SST.



Fuente: Elaboración propia.

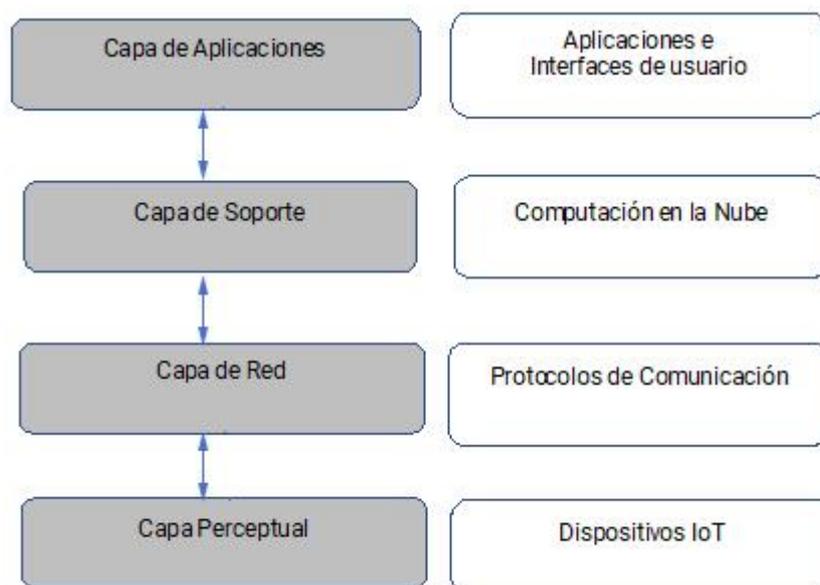
Fig. 2 – Aspectos que aborda el IoT en la SST.

Para responder la segunda pregunta de investigación formulada se presenta un ejemplo de arquitectura de IoT propuesta por Adat y Gupta,⁽⁴⁹⁾ en la cual se distinguen cuatro capas claramente definidas. La primera capa es perceptual o de reconocimiento, la cual recoge diferentes tipos de información a través de dispositivos IoT que se conectan con el mundo físico. Además, pueden estar equipados con sensores integrados que detectan propiedades o cambios en el mundo físico y generan eventos para notificar en las aplicaciones. Asimismo, están constituidos por actuadores que reflejan las acciones que un dispositivo puede ejecutar.

Estos dispositivos pueden estar representados por un lector de identificación de radio frecuencia (RFID), bluetooth, sensores, GPS, entre otros, de los cuales recopilan datos o información que se analiza posteriormente. Esto permite

identificar a esta capa como el núcleo donde se originan los datos. La capa siguiente es nombrada red, su función principal se centra en transmitir la información recopilada por la capa de percepción y tiene la obligación de transferir de forma segura los datos recopilados a la unidad o red de procesamiento; el medio de transmisión que esta capa utiliza puede ser wifi, bluetooth, satelital, entre otros, dependiendo de la tecnología empleada por los sensores y la capa de soporte. Para este propósito se manejan protocolos de comunicación y la interfaz con otros sistemas.

Seguidamente, se encuentra la capa reconocida como soporte o *middleware*, debido a que aprueba el procesamiento, las operaciones inteligentes y la toma de decisiones sobre los datos. Se considera preciso aclarar que la información recopilada por los dispositivos de la capa perceptiva es recibida en la capa de soporte a través de la red. Finalmente, la capa de aplicación posibilita la interacción con el usuario final; esta se caracteriza por su dependencia completa de los consumidores; personaliza y atiende las necesidades de los usuarios e integra las aplicaciones. Asimismo, la interfaz que utilice el consumidor puede ser desde una computadora personal o un teléfono móvil, hasta cualquier dispositivo que pueda usar el servicio de internet de las cosas (fig. 3).



Fuente: elaboración propia.

Fig. 3 – Arquitectura IoT.

Entre las investigaciones más destacadas se encuentran los aportes de Berkay y otros,⁽⁵⁰⁾ los cuales se distinguen por aportar los componentes básicos como los dispositivos IoT, un concentrador o *gateway*, que permiten establecer comunicación por medio de un protocolo de red local; se conectan a la nube y servicios a través de un protocolo de red de área amplia, los cuales, al integrarse con servicios externos, permiten a los usuarios la interacción a través de las aplicaciones móviles. Un componente importante en esta arquitectura es la computación en la nube, pues es ampliamente aceptada para el almacenamiento remoto de datos. Estos pueden ser de orden fisiológico, provenientes de sensores portátiles que proporcionan información en tiempo real sobre la fisiología del trabajador y los datos del entorno ambiental, tal como proponen Caggiano y otros.⁽⁵¹⁾ Este componente ofrece servicios de infraestructura, plataforma y *software* que se pueden aprovisionar bajo demanda para recopilar, almacenar, procesar y visualizar datos para el IoT, así como proporcionar las interfaces y herramientas generales para la administración de las capas de red y perceptual.⁽⁵²⁾

Discusión

Entre muchas de las aplicaciones que se pueden generar a partir de la tecnología IoT en el nivel organizacional, resulta relevante su utilidad para permitir monitorear la ubicación de los empleados y su salud física en relación con el espacio y las actividades que están inmersas en el ambiente interno y externo laboral. Sin embargo, aunque esta vigilancia puede apoyar la optimización de la productividad en la organización, al asegurarse al empleador en tiempo real que sus empleados no están incurriendo en acciones inapropiadas, deshonestas o en contravía con las políticas o normas institucionales internas, no se debe desconocer que la conciencia del monitoreo podría contener dos aristas. Una positiva que se resume en la motivación intrínseca de los empleados a mejorar su productividad y reducir las actividades que son perjudiciales para la organización y una negativa referente al aumento de los niveles de stress y sensación de acoso, al sentirse vigilados y asumir que existe un ambiente de desconfianza de la empresa hacia su labor. Por lo cual, en la implementación de aplicaciones de monitoreo y seguimiento debe

planearse una sensibilización adecuada que permita alcanzar los objetivos planteados por la organización.

Secuencialmente, se distingue en este estudio que la aplicación de la tecnología IoT facilita el trabajo del personal de limpieza o de servicios generales, debido a que es posible automatizar y monitorear las actividades asociadas a la higiene en un baño público, utilizando sensores que permitan detectar gases peligrosos para la salud.⁽⁴¹⁾ Por otra parte, el uso de sensores facilita el monitoreo por fuera del entorno organizacional, es decir, la salud y seguridad puede trascender al hogar. Kong y Sun⁽⁵³⁾ proponen un estudio para procesar datos de comportamientos recopilados por los sensores, mediante la aplicación de modelos de regresión, lo cual proporciona a los cuidadores de ancianos signos de riesgos y les permite la gestión de toma de decisiones óptimas en lo referente a su cuidado.

Además de los factores estresantes tradicionales como la excesiva carga de trabajo, el trabajador se enfrenta a la demanda constante de interacción con robots, máquinas e interfaces poco claras y mal diseñadas que generan un estrés cognitivo adicional para ellos. Para abordar este problema se han propuesto sistemas basados en sensores portátiles que pueden recopilar y almacenar datos relevantes para la valoración del estrés laboral.⁽⁴³⁾ Los sensores pueden medir indicadores fisiológicos como la frecuencia cardíaca o respiratoria, así como datos geospaciales que incluyen coordenadas GPS de movimiento, velocidad y aceleración de los trabajadores. Es así como los datos recopilados se procesan con el fin de describir las relaciones entre los factores estresantes, el estado de salud y el comportamiento de los trabajadores. No obstante, en el estudio de Pütz y otros⁽⁵⁴⁾ se examinan las expectativas y preocupaciones de los gerentes con respecto a la implementación del monitoreo de la carga de trabajo mental basado en sensores, donde se concluye que el riesgo de invadir la privacidad de los empleados surgió como el impedimento principal para el control de la carga de trabajo.

Igualmente, esta tecnología contribuye a monitorear la temperatura corporal de empleados; posibilita realizar un análisis estadístico y emitir alertas de sus problemas de salud.⁽⁴²⁾ Entre otras alternativas de aplicaciones se destaca el

control del ruido ambiental⁽⁴⁰⁾ para mejorar el bienestar acústico, aumentar la concentración, la comunicación y, por ende, la productividad.

Otro de los sectores en los que se destaca el impacto de esta tecnología corresponde a actividades de trabajos potencialmente peligrosos en la industria minera, tal como lo describen Wan y otros⁽²⁴⁾ y los trabajos recientes sobre la Inteligencia Artificial (IA) para posibilitar la digitalización y la optimización de los procesos de este sector, lo que conlleva a verificar el estado de las máquinas, seguridad de los trabajadores y la gestión de activos.^(26,27,28) Se demuestra que para prevenir o disminuir los accidentes fatales asociados con las minas subterráneas de carbón se requiere la implementación del monitoreo de gas y enfocarse en la localización de los mineros en los espacios donde ejecutan sus labores, en función de promover la seguridad subterránea y salud.

Se evidencia el interés de utilizar el IoT para monitorear la fatiga de los operadores, entrenar modelos de aprendizaje automático y ofrecer alertas de seguridad y atención médica precisas y personalizadas. No obstante, existen muchos desafíos por superar en este sector, debido a que la minería digital es difícil de implementar por las limitaciones existentes en materia de comunicación, gestión de datos e infraestructura de almacenamiento.

En la actualidad, el sector de la construcción se destaca como uno de los ámbitos con mayor potencial para la implementación de las tecnologías 4.0, como lo demuestran las contribuciones recopiladas en esta revisión. Estas evidencias respaldan el papel fundamental que el Internet de las cosas puede desempeñar en la gestión de la salud y la seguridad en el trabajo, ofreciendo soluciones innovadoras para abordar los desafíos que enfrentan los sectores productivos a nivel global.^(32,33,22) Esta afirmación se confirma por el impacto positivo de sensores en equipos y dispositivos portátiles disponibles para los trabajadores, lo que permite obtener alertas en tiempo real para prevenir accidentes. Sin embargo, también existen barreras para la adopción de dispositivos inteligentes en la construcción, incluidos los problemas de privacidad, la utilidad percibida y la facilidad de uso de cada dispositivo, entre otros.

Con respecto a la arquitectura IoT, la capa de percepción, que provee el conjunto de sensores para monitorear el ambiente, la salud y la seguridad de los

trabajadores, puede enfrentar problemas relacionados con el riguroso consumo de energía, la conectividad, la configuración a larga distancia y el desafío a superar es el acceso a sensores de bajo costo y la necesidad de calibrarlos para condiciones de implementación específica. Otro desafío por enfrentar es la mala calidad de los datos sensoriales, lo cual puede afectar considerablemente la toma de decisiones de forma oportuna. Por lo anterior, existe una necesidad cada vez mayor de arquitecturas más robustas para enfrentar estos problemas.

Conclusiones

Los requisitos legales sobre la SST están obligando a las empresas de diferentes sectores, no solo a documentarse en procedimientos y estándares de gestión de riesgos para implementar procesos que permitan formalizar un programa que pueda identificar, evaluar, controlar, monitorear y reportar los riesgos de cumplimiento en toda la organización, sino a tener confianza y realizar importantes inversiones en el uso de tecnologías 4.0 como la IoT, el *Machine Learning*, el *Big Data* y la *Cloud Computing*, ya que proporcionan datos, algoritmos predictivos y sistemas avanzados que permiten tomar decisiones en este contexto.

Este trabajo presentó una revisión de la literatura acerca de las aplicaciones de IoT, en la que se observó que, a medida que las tecnologías avancen, se realizarán cambios de paradigma con un impacto en el trabajador y en la gestión de la seguridad y de su salud laboral, la cual es de obligatorio cumplimiento y de interés en diferentes países, en función de minimizar accidentes que pueden ocurrir por errores humanos, falta de información, descuido de los procedimientos de seguridad, el uso de inadecuado de equipos e implementos de seguridad y/o por falta de preparación. La implementación IoT posibilita abordar problemas relacionados con la protección y prevención de riesgos laborales asociados con las lesiones y enfermedades producidas en el trabajo, la vigilancia de la salud y el bienestar del trabajador, lo que contribuye a evaluar el estado físico y emocional durante su rutina laboral.

No se puede desconocer que en los diversos sectores y organizaciones el talento humano siempre está expuesto a sucesos, cuya ocurrencia no depende de este; algunas veces representados en riesgos físicos accidentales, otras en la disminución de la energía en el indicador de productividad, derivado de la vejez o

por la incidencia de una salud mental perturbada, producto de un ambiente laboral tóxico, que puede afectar el desempeño laboral e, incluso, llegar a afectar el proyecto de vida de este ser humano y quienes lo rodean, no solo en el campo organizacional, si no en todas las aristas de su cotidianidad, incluyendo el entorno personal y familiar.

Es en este punto donde el IoT puede llegar a representar un cúmulo de oportunidades para favorecer el cumplimiento del marco jurídico aplicable a la SST, que garantice una gestión confiable, transparente, eficaz y entorno a una gestión sostenible que, lejos de generar dudas sobre un excesivo control, producto de la automatización y el monitoreo, aproveche el potencial de la trazabilidad en las acciones y procesos en que se implementan. Ello propicia bienestar real y evidenciable para el trabajador, la organización y los grupos de interés con los cuales interactúa. De tal modo que, al fusionarse el IoT con el rasgo distintivo de la salud y seguridad en el trabajo, se pueden prevenir hechos que a futuro puedan ser objeto de contingencia y garantizar estrategias, mecanismos y acciones conducentes a evitarlos de una forma sólida y ágil, que se traduzca en ambientes y personas saludables.

Se puede afirmar que el potencial de la tecnología IoT en conjunto con otras tecnologías como el *machine learning* y *bigdata* podrán aportar funciones inteligentes que permitan predecir la disminución cognitiva y las capacidades físicas de los trabajadores, así como podrá emitir retroalimentaciones adaptadas al contexto laboral. Esto sin duda permitirá soportar las decisiones a partir de fuentes confiables de información, tanto para los trabajadores como para los responsables de la salud ocupacional en las organizaciones. De igual forma, se podrán disminuir las sanciones legales en que podrían incurrir las empresas, en que caso de que estos eventos ocurran a sus trabajadores, en consonancia con el marco jurídico que rige en cada país. Por lo tanto, la alineación e integración de aspectos fundamentales como la política organizacional, la normatividad legal, la estrategia, gestión y tecnologías serán los principales desafíos que enfrentarán los profesionales responsables de la SST en las organizaciones.

Referencias bibliográficas

1. Feria K, Alfonso C, Medina A, Alarcón R. Tutela penal de la seguridad y salud en el trabajo: Lecciones de España para Cuba. Trab y Derecho. 2022 [acceso 25/06/2023]:93. Disponible en: <https://bit.ly/3X8EbT9>
2. Magdy H. SMEs, Barriers and Opportunities on adopting Industry. Procedia Comput Sci. 2022;196:864-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.086>
3. Castelo I, Oliveira T, Simões P, Filipe I. Measuring the fourth industrial revolution through the Industry 4.0 lens_ The relevance of resources, capabilities and the value chain. Comput Ind. 2022;138:103639. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103639>
4. Gajek A, Fabiano B, Jensen N. Process safety education of future employee 4.0 in Industry 4.0. J Loss Prev Process Ind. 2022;75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlpp.2021.104691>
5. Dornelles J, Ayala N, Frank A. Smart Working in Industry 4.0: How digital technologies enhance manufacturing workers' activities. Comput Ind Eng. 2022;163:107804. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107804>
6. Silveira F, Rodeghiero I, Molinar F, Pereira M, Gonçalves F. Analysis of Industry 4.0 Technologies Applied to the Health Sector: Systematic Literature Review. En: Occupational and Environmental Safety and Health. Warsaw, Poland: Springer;2019. p. 701-10.
7. Chin J, Callaghan V, Ben S. The Internet-of-Things: Reflections on the past, present and future from a user-centered and smart environment perspective. J Ambient Intell Smart Environ. 2019;11:45-69. DOI: <https://doi.org/10.3233/AIS-180506>
8. Badri A, Boudreau-Trudel B, Saâdeddine A. Occupational health and safety in the industry 4.0 era: A cause for major concern? Saf Sci. 2018;109(8):403-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.06.012>
9. Treleaven P, Barnett J, Knight A, Serrano W. Real Estate Data Marketplace. AI Ethics. 2021;1(4):445-62. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43681-021-00053-4>
10. ISO. Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. ISO 45001. 2018 [acceso 25/06/2023];1. Disponible en: <https://bit.ly/3X7WW96>

11. Riaño M, Navarrete E, Valero I. Evolución de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo e Impacto en la Accidentalidad Laboral: Estudio de Caso en Empresas del Sector Petroquímico en Colombia. *Cienc Trab.* 2016;55:68-72. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-24492016000100011>
12. Leso V, Fontana L, Iavicoli I. The occupational health and safety dimension of Industry 4.0. *Med Lav.* 2018;109(5):327-38. DOI: <https://doi.org/10.23749/mdl.v109i5.7282>
13. Bavaresco R, Arruda H, Rocha E, Barbosa J, Li G. Internet of Things and occupational well-being in industry 4.0: A systematic mapping study and taxonomy. *Comput Ind Eng.* 2021;161(9):107670. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107670>
14. Lu H, Guo L, Azimi M, Huang K. Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook. *Comput Ind.* 2019;111:68-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.007>
15. Meng X, Chan A. Current States and Future Trends in Safety Research of Construction Personnel: A Quantitative Analysis Based on Social Network Approach. *Int J Environ Res Public Heal.* 2021;18(3):883. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18030883>
16. Barata J, Rupino P. Safety Is the New Black: The Increasing Role of Wearables in Occupational Health and Safety in Construction. En: Springer, editor. 22nd International Conference, BIS 2019. Sevilla, Spain; 2019. p. 526.
17. Tabatabaee S, Mohandes S, Rabnawaz R, Mahdiyar A, Arashpour M, Zayed T, *et al.* Investigating the Barriers to Applying the Internet-of-Things-Based Technologies to Construction Site Safety Management. *Int J Environ Res Public Heal.* 2022;19(2):868. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19020868>
18. Rey M, Gómez J, López A, Fernández J. Virtual Fence System Based on IoT Paradigm to Prevent Occupational Accidents in the Construction Sector. *Int J Environ Res Public Heal.* 2021;18(13): 6839. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18136839>
19. Salah K. The Era of Internet of Things. Springer, editor. Switzerland; 2019.

20. Celik A, Salama K, Eltawil A. The Internet of Bodies: A Systematic Survey on Propagation Characterization and Channel Modeling. *IEEE Internet Things J.* 2022;9(1):321-45. DOI: <https://doi.org/10.36227/techrxiv.12912752.v2>
21. Barker TT. Finding Pluto: An Analytics-Based Approach to Safety Data Ecosystems. *Saf Health Work.* 2021;12(1):1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2020.09.010>
22. Khan M, Khalid R, Anjum S, Khan N, Cho S, Park C. Tag and IoT based safety hook monitoring for prevention of falls from height. *Autom Constr.* 2022;136(2):104153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104153>
23. Kitchenham B, Pretorius R, Budgen D, Brereton OP, Turner M, Niazi M, *et al.* Systematic literature reviews in software engineering – A tertiary study. *Inf Softw Technol.* 2010;52(8):792-805. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2010.03.006>
24. Wan B, Muhammad R. An Event Reporting and Early-Warning Safety System Based on the Internet of Things for Underground Coal Mines: A Case Study. *Appl Sci.* 2017;7(9):925. DOI: <https://doi.org/10.3390/app7090925>
25. Madahana M, Nyandoro O, Ekoru J. Intelligent comprehensive occupational health monitoring system for mine workers. En: *IFAC PapersOnLine.* Elsevier Ltd;2020. p. 16494-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.751>
26. Jacksha R, Raj K. Assessing the Feasibility of a Commercially Available Wireless Internet of Things System to Improve Conveyor Safety. *Mining, Metall Explor.* 2021;567-74. DOI: <https://doi.org/10.1007%2Fs42461-020-00325-3>
27. Sinha A. IT-enabled safety management framework in Indian mines. *Jmmf.* 2022 [acceso 04/06/2023];69(12):439-44. Disponible en: <https://www.informaticsjournals.com/index.php/jmmf/article/view/29378>
28. Rob A, Sharifuzzaman S. The Role of IoT in Digitalizing Mining Sector of Bangladesh. En: *5th International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT)* Military Institute of Science and Technology (MIST). IEEE; 2021.
29. Jha A, Verburg A, Tukkaraja P. Internet of Things e Based Command Center to Improve Emergency Response in Underground Mines. *Saf Health Work.* 2022;13(1):40-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.10.003>

30. Adjiski V, Despodov Z, Mirakovski D, Serafimovski D. System architecture to bring smart personal protective equipment wearables and sensors to transform safety at work in the underground mining industry. *Rud.-geol.-naft. zb.* 2018;34(1). DOI: <https://doi.org/10.17794/rgn.2019.1.4>
31. Singh N, Kumar V, Chaudhary G, Kaluri R, Victor N, Lakshmana K. IoT enabled HELMET to safeguard the health of mine workers. *Comput Commun.* 2022;193(6):1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2022.06.032>
32. Yang X, Yu Y, Shirowzhan S, Li H. Automated PPE-Tool pair check system for construction safety using smart IoT. *J Build Eng.* 2020;32(5):101721. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101721>
33. Thirugnanasammandamoorthi P, Choi J. Improvements on Integrated Health and Safety Management System based on Wi-Pose to increase Productivity. In: 2021 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICTC52510.2021.9620868>
34. Ramesh G, Kumar A, Khan M, Kiran G, Singh B. Electronic Sniffing Mask-A Smart Drainage Worker Safety System. En: International Conference on Advance Computing and Innovative Technologies in Engineering. 2021. p. 674-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/icacite51222.2021.9404751>
35. Seong S, Park S, Ahn YH, Kim H. Development of an integrated fatigue measurement system for construction workers: a feasibility study. *BMC Public Health.* 2022;22(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-022-13973-5>
36. Kaupins G, Coco M. Perceptions of Internet-of-Things Surveillance by Human Resource Managers. *SAM Adv Manag J.* 2017 [acceso 25/06/2023];82(2):53-68. Disponible en: <https://bit.ly/4ea0M7K>
37. Marques G, Pitarma R. mHealth: Indoor Environmental Quality Measuring System for Enhanced Health and Well-Being Based on Internet of Things. *Sens Actuator Networks.* 2019;8(3):43. DOI: <https://doi.org/10.3390/jsan8030043>
38. Rajmohan P, Srinivasan PSS. IoT based industrial safety measures monitoring and reporting system using accident reduction model (ARM) control algorithm. *Cluster Comput.* 2019;22(5):11259-69. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10586-017-1377-3>

39. Madhuri M, Qumer A, Ullah H. IoT-enabled Smart Child Safety Digital System Architecture. En: IEEE 14th International Conference on Semantic Computing. IEEE;2020. p. 166-9. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSC.2020.00033>
40. Marques G, Pitarma R. A Real-time Noise Monitoring System based on Internet of Things for Enhanced Acoustic Comfort and Occupational Health. IEEE Access. 2020 [acceso 25/06/2023]:139741-139755. Disponible en: <https://bit.ly/3V5VnWN>
41. Thennakoon I, Hewawasam P, Wijesundara D, Fernando N, Gunawardena L, Premachandra C. A Framework for IoT-Enabled Smart Washrooms. En: 2021 IEEE 10th Global Conference on Consumer Electronics, GCCE 2021. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. 2021. p. 612-613. DOI: <https://doi.org/10.1109/GCCE53005.2021.9622030>
42. Elangovan M, Prakash SPS. Monitoring of Workplace Safety Using IoT. J Phys Conf Ser Pap. 2021;(2115). DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2115/1/012014>
43. Kajmakovic A, Brillinger M, Manfredi S. Poster: IOT as enabler of workers' stress detection in manufacturing systems of the future. In 11th International Conference on the Internet of Things, IoT 2021-Conference Proceedings. Association of Computing Machinery. 2022. p. 196-9 DOI: <https://doi.org/10.1145/3494322.3494349>
44. Hinze A, Bowen J, König J. Smart Health Wearable technology for hazardous remote environments: Smart shirt and Rugged IoT network for forestry worker health. Smart Heal. 2022;23(12):100225. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2021.100225>
45. Márquez-Sánchez S, Campero-jurado I, Herrera-santos J, Rodríguez S, Corchado JM. Intelligent Platform Based on Smart PPE for Safety in Workplaces. Sensors. 2021, 21(14), 4652; DOI: <https://doi.org/10.3390/s21144652>
46. Kumar S, Tauseef SM. Development of an Internet of Things (IoT) based Lockout/Tagout (LOTO) device for Accident Prevention in Manufacturing Industries. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2021;1017(1). DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1017/1/012017>

47. Nahid SI, Khan MM. Toxic Gas Sensor and Temperature Monitoring in Industries using Internet of Things (IoT). 24th Int Conf Comput Inf Technol ICCIT 2021.2021:18-20. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCIT54785.2021.9689802>
48. Mamun AAI, Rasit M. Sensors and Systems for Wearable Environmental Monitoring Toward IoT-Enabled Applications: A Review. IEEE. 2019;19(18):7771-88. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2919352>
49. Adat V, Gupta B. Security in Internet of Things: issues, challenges, taxonomy, and architecture. Telecommun Syst. 2018;67(3):423-41. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11235-017-0345-9>
50. Berkay Z, McDaniel P, Tan G, Babun L, Uluagac S. Verifying Internet of Things Safety and Security in Physical Spaces. IEEE Secur Priv. 2019;17(5):33-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/MSEC.2019.2911511>
51. Caggiano A, Grant R, Peng C, Li Z, Simeone A. Manufacturing Process Impacts on Occupational Health: A Machine Learning Framework. Procedia CIRP. 2022;112:561-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.09.100>
52. Gao S, Wang Z, Jiang S, Ding W, Wang Y, Dong X. Optimization of Work Environment and Community Labor Health Based on Digital Model – Empirical Evidence from Developing Countries. Int J Environ Res Public Health. 2022;19(20). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph192013114>
53. Kong D, Wang Y, Sun K. Design of Care Decision Support System Based on Home-Based Behavior of Elderly: A Design Science Study. Sage Open. 2022;(237):1-12. DOI: <https://doi.org/10.1177/21582440221086606>
54. Pütz S, Rick V, Mertens A, Nitsch V. Using IoT devices for sensor-based monitoring of employees' mental workload: Investigating managers' expectations and concerns. Appl Ergon. 2022;102(12):103739. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103739>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses.

Financiación

Este trabajo ha sido financiado por la Universidad del Sinú Seccional Cartagena-Colombia con el apoyo metodológico de la Universidad Oriente de Cuba.