



Aplicación de sensores IoT y análisis de datos para la detección temprana de riesgos físicos y químicos en entornos industriales.

Application of IoT Sensors and Data Analysis for the Early Detection of Physical and Chemical Hazards in Industrial Environments.

Wanderberg Guillermo Villamarin Noboa¹ 

wgvillamarin@itsoriente.edu.ec.

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Benjamín Gabriel Quito Cortez² 

benjaminquito@bqc.com.ec

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Julio Bolívar Vásconez Espinoza³ 

juliovasconez@bqc.com.ec

Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO)

Riobamba, Ecuador

Recepción: 05-01-2026

Aceptación: 10-02-2026

Publicación: 30-03-2026

Como citar este artículo: Villamarin, W. Quito, B. Vásconez, J. (2026). **Aplicación de sensores IoT y análisis de datos para la detección temprana de riesgos físicos y químicos en entornos industriales.** *Metrópolis. Revista de Estudios Globales Universitarios*, 7 (1), pp. 3347-3373.

¹ Tecnólogo en seguridad y salud ocupacional. Instituto Superior Tecnológico Oriente (ITSO).

² Abogado, Magister en Educación (Universidad Bicentenario de Aragua) Venezuela, Magister en Ciencias Gerenciales (Universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (UBA) Venezuela, Doctor en Ciencias Gerenciales PHD (universidad internacional del caribe y América latina) Curacao, Postdoctorado en Ciencias de la Educación (UBA) Venezuela.

³ Ingeniero en Electrónica (Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE), Magister en Conectividad y Redes de Telecomunicaciones (Escuela Politécnica Nacional EPN (Egr.)), Magister en Educación Superior (Universidad América), Doctor en Educación PHD (Universidad Benito Juárez) México, Doctor en Ciencias de la Educación PHD (Universidad Bicentenario de Aragua) Venezuela, Postdoctorante en Educación (Universidad Internacional de Investigación México UIIMEX).





Resumen

La seguridad laboral y la higiene industrial son esenciales para proteger la salud de los trabajadores y garantizar la sostenibilidad de los procesos productivos. Este artículo analiza la aplicación de sensores del Internet de las Cosas (IoT) y técnicas de análisis de datos para la detección temprana de riesgos físicos y químicos en entornos industriales. Se evidencia que los sistemas IoT permiten la recopilación continua y en tiempo real de variables ambientales críticas, como niveles de ruido, vibración, temperatura y concentración de sustancias químicas, superando las limitaciones de los métodos tradicionales de medición puntual. El análisis de datos, mediante modelos estadísticos y predictivos, facilita la identificación de patrones de riesgo, la generación de alertas preventivas y la adopción de decisiones basadas en evidencia. La integración de estas tecnologías en sistemas de gestión de seguridad y salud laboral, como ISO 45001, promueve un enfoque proactivo y de mejora continua, fortaleciendo la prevención de accidentes y enfermedades profesionales. Asimismo, se discuten los desafíos asociados a la implementación, incluyendo los costos, la interoperabilidad de los dispositivos, la gestión de grandes volúmenes de información y la necesidad de capacitación del personal. Los resultados sugieren que los sensores IoT y el análisis de datos constituyen herramientas estratégicas que complementan los métodos tradicionales, potenciando la protección integral de los trabajadores y la eficiencia de la gestión de riesgos industriales. **Palabras Clave:** Monitoreo industrial, Prevención de riesgos, Sensores inteligentes, Gestión de seguridad, Industria.

Abstract

Occupational safety and industrial hygiene are essential for protecting workers' health and ensuring sustainable production processes. This article examines the application of Internet of Things (IoT) sensors and data analysis techniques for the early detection of physical and chemical risks in industrial environments. IoT systems enable continuous, real-time monitoring of critical environmental variables, such as noise, vibration, temperature, and chemical concentrations, overcoming the limitations of traditional point-measurement methods. Data analysis using statistical and predictive models allows for the identification of risk patterns, the generation of preventive alerts, and evidence-based decision-making. Integrating these technologies into occupational health and safety management systems, such as ISO 45001, promotes a proactive and continuous improvement approach, enhancing the prevention of accidents and occupational diseases. Implementation challenges, including costs, device interoperability, large-scale data management, and personnel training, are also discussed. Findings indicate that IoT sensors and data analysis constitute strategic tools that complement traditional methods, improving comprehensive worker protection and industrial risk management efficiency. **Keywords:** Industrial monitoring, Risk prevention, Smart sensors, Safety management, Industry.





Introducción.

La seguridad laboral y la higiene industrial constituyen elementos fundamentales para la protección de la salud de los trabajadores y la sostenibilidad de los sistemas productivos. De acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo, millones de trabajadores en el mundo continúan expuestos a condiciones peligrosas que generan accidentes laborales y enfermedades profesionales, especialmente aquellas asociadas a agentes físicos y químicos presentes en entornos industriales (OIT, 2019). Entre estos riesgos se incluyen el ruido, las vibraciones, las temperaturas extremas y la exposición a sustancias químicas peligrosas, los cuales pueden provocar efectos adversos tanto agudos como crónicos en la salud ocupacional.

Tradicionalmente, la identificación y evaluación de estos riesgos se ha basado en mediciones puntuales, inspecciones periódicas y métodos de control mayormente reactivos. Si bien estas estrategias cumplen con los requisitos normativos básicos, presentan limitaciones importantes, como la falta de monitoreo continuo y la dificultad para detectar variaciones súbitas en las condiciones ambientales del trabajo (Goel et al., 2021). Esta situación reduce la capacidad de anticipación frente a escenarios críticos y limita la eficacia de las medidas preventivas implementadas.

En este contexto, el avance de las tecnologías digitales y el surgimiento del Internet de las Cosas (IoT) han generado nuevas oportunidades para fortalecer la gestión de la seguridad laboral y la higiene industrial. Los sensores IoT permiten la recopilación continua y en tiempo real de datos relacionados con variables ambientales y operativas, tales como niveles de ruido, temperatura, humedad, concentración de gases tóxicos y partículas





en suspensión (Xu et al., 2018). La conectividad de estos dispositivos facilita la integración de la información en plataformas digitales, mejorando la visibilidad y el control de los riesgos presentes en los entornos industriales.

El análisis de los datos generados por los sensores IoT es un componente clave para transformar la información en conocimiento útil para la prevención. Mediante técnicas de análisis estadístico y modelos predictivos, es posible identificar patrones, tendencias y desviaciones que permiten detectar tempranamente condiciones inseguras y generar alertas preventivas (Khan et al., 2020). Este enfoque predictivo contribuye a una gestión más proactiva del riesgo, reduciendo la probabilidad de accidentes y la exposición prolongada a agentes nocivos, además de apoyar el cumplimiento de los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, como los establecidos en la norma ISO 45001 (ISO, 2018).

En este marco, el presente artículo tiene como objetivo analizar la aplicación de sensores IoT y el análisis de datos para la detección temprana de riesgos físicos y químicos en entornos industriales, evaluando su potencial como herramienta estratégica para mejorar la seguridad laboral y la higiene industrial. Asimismo, se busca aportar evidencia académica que respalde la adopción de soluciones tecnológicas orientadas a la prevención y a la protección integral de la salud de los trabajadores.

Marco Teórico.

La seguridad laboral y la higiene industrial tienen como objetivo principal la identificación, evaluación y control de los factores de riesgo presentes en los ambientes de trabajo, con el fin de prevenir accidentes y enfermedades profesionales. La higiene industrial se enfoca específicamente en el reconocimiento y control de los agentes físicos,





químicos y biológicos que pueden afectar la salud de los trabajadores (DiNardi, 2019). Por su parte, la seguridad laboral se orienta a la prevención de incidentes derivados de condiciones inseguras y actos peligrosos dentro de los procesos productivos.

Los riesgos físicos más comunes en los entornos industriales incluyen el ruido, las vibraciones, la radiación, la iluminación inadecuada y las temperaturas extremas, mientras que los riesgos químicos están asociados a la exposición a gases, vapores, polvos y sustancias tóxicas (OIT, 2019). La exposición prolongada a estos agentes puede provocar efectos adversos significativos, como enfermedades respiratorias, trastornos auditivos, alteraciones neurológicas y afecciones musculoesqueléticas, lo que resalta la importancia de contar con sistemas eficaces de monitoreo y control.

Los métodos tradicionales de gestión de riesgos en seguridad y salud en el trabajo se basan en evaluaciones periódicas, inspecciones visuales, muestreos ambientales y análisis retrospectivos de incidentes. Aunque estas estrategias permiten cumplir con los requisitos normativos y establecer medidas correctivas, su enfoque es predominantemente reactivo y limitado en términos de continuidad y cobertura temporal (Goel et al., 2021). La falta de monitoreo permanente dificulta la detección temprana de condiciones peligrosas que pueden variar rápidamente durante la jornada laboral.

Además, la dependencia de la intervención humana en la recolección y análisis de datos incrementa la probabilidad de errores y reduce la capacidad de respuesta inmediata ante situaciones críticas. Estas limitaciones han impulsado la búsqueda de soluciones tecnológicas que permitan una gestión del riesgo más dinámica, precisa y orientada a la prevención.





El Internet de las Cosas (IoT) se define como una red de dispositivos físicos interconectados que recopilan y transmiten datos a través de sistemas digitales sin intervención humana directa (Xu et al., 2018). En el ámbito industrial, el IoT ha adquirido un papel relevante como parte de la Industria 4.0, facilitando la automatización, el monitoreo en tiempo real y la optimización de procesos productivos.

La aplicación de sensores IoT en seguridad laboral permite la medición continua de variables ambientales asociadas a riesgos físicos y químicos, como niveles de ruido, vibración, temperatura, humedad, concentración de gases tóxicos y partículas suspendidas. Estos sensores pueden instalarse tanto en áreas de trabajo como en equipos de protección personal, proporcionando información precisa y actualizada sobre las condiciones reales de exposición de los trabajadores (Sodhro et al., 2019).

El análisis de datos es un componente esencial para aprovechar el potencial de los sensores IoT. La gran cantidad de información generada requiere el uso de técnicas analíticas que permitan procesar, interpretar y transformar los datos en conocimiento útil para la toma de decisiones. Entre estas técnicas se incluyen el análisis estadístico, la minería de datos y los modelos predictivos basados en aprendizaje automático (Khan et al., 2020). El enfoque predictivo en la gestión de riesgos laborales permite identificar patrones y tendencias que anteceden a la ocurrencia de accidentes o exposiciones peligrosas. De esta manera, es posible generar alertas tempranas y aplicar medidas preventivas antes de que se produzcan daños a la salud de los trabajadores. Este cambio de un enfoque reactivo a uno proactivo representa un avance significativo en la prevención de riesgos laborales.

La implementación de sensores IoT y análisis de datos se alinea con los





principios de los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, como los establecidos en la norma ISO 45001. Esta norma promueve la identificación de peligros, la evaluación de riesgos y la mejora continua del desempeño en seguridad y salud ocupacional (ISO, 2018). La disponibilidad de datos en tiempo real facilita la toma de decisiones basada en evidencia y fortalece el cumplimiento normativo.

En síntesis, la integración de tecnologías IoT y análisis de datos en la seguridad laboral y la higiene industrial constituye un marco teórico sólido para el desarrollo de estrategias preventivas más eficaces. Estas tecnologías permiten una gestión del riesgo más precisa, continua y orientada a la protección integral de la salud de los trabajadores en entornos industriales complejos.

Estado del Arte

En los últimos años, la incorporación de tecnologías digitales en la gestión de la seguridad laboral y la higiene industrial ha sido objeto de un creciente interés académico y profesional. En particular, el uso de sensores basados en el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis avanzado de datos ha emergido como una estrategia innovadora para mejorar la identificación y el control de riesgos físicos y químicos en entornos industriales. Diversos estudios destacan que estas tecnologías permiten superar las limitaciones de los métodos tradicionales de evaluación, caracterizados por mediciones discontinuas y enfoques reactivos (Goel et al., 2021).

La literatura científica evidencia un aumento significativo de investigaciones orientadas al monitoreo en tiempo real de variables ambientales mediante sensores IoT. Xu et al. (2018) señalan que los sistemas IoT aplicados a la industria facilitan la recopilación continua de





datos relacionados con temperatura, humedad, ruido y concentraciones de gases, lo que permite una evaluación más precisa de las condiciones de trabajo. En esta línea, estudios recientes han demostrado que la implementación de redes de sensores inalámbricos contribuye a reducir la exposición de los trabajadores a agentes peligrosos, al permitir una detección temprana de desviaciones respecto a los límites permisibles (Sodhro et al., 2019).

En relación con los riesgos físicos, varias investigaciones se han centrado en el monitoreo del ruido y las vibraciones en entornos industriales. Por ejemplo, Mansour et al. (2020) desarrollaron un sistema IoT para la medición continua del ruido ocupacional, logrando identificar zonas críticas y periodos de mayor exposición durante la jornada laboral. Los autores concluyen que el acceso a datos en tiempo real mejora la toma de decisiones preventivas y facilita la implementación de medidas de control más eficaces. De manera similar, otros estudios destacan el uso de sensores portátiles integrados en equipos de protección personal para evaluar la exposición individual a riesgos físicos, lo que representa un avance significativo en la personalización de la prevención (Kumar et al., 2021).

En el ámbito de los riesgos químicos, la literatura resalta la aplicación de sensores IoT para la detección de gases tóxicos y contaminantes atmosféricos en procesos industriales. Khan et al. (2020) subrayan que los sistemas tradicionales de muestreo químico, al ser puntuales y retrospectivos, no siempre permiten identificar exposiciones peligrosas en tiempo oportuno. En contraste, los sensores IoT posibilitan el monitoreo continuo de sustancias como monóxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y compuestos orgánicos volátiles, generando alertas inmediatas ante





concentraciones peligrosas. Estas aplicaciones han demostrado ser especialmente relevantes en industrias químicas, mineras y petroquímicas.

El análisis de datos constituye otro eje central en el estado del arte. La gran cantidad de información generada por los sensores IoT ha impulsado el uso de técnicas de análisis estadístico, minería de datos y aprendizaje automático para la gestión de la seguridad laboral. Según Li et al. (2021), los modelos predictivos permiten identificar patrones de riesgo que no son evidentes mediante análisis convencionales, contribuyendo a la anticipación de accidentes y eventos adversos. Estos enfoques predictivos marcan una transición desde modelos reactivos hacia sistemas de prevención proactivos y basados en evidencia.

Asimismo, diversos autores han analizado la integración de estas tecnologías con los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo. La norma ISO 45001 promueve el uso de información documentada y la mejora continua, aspectos que se ven fortalecidos con la implementación de plataformas digitales y sensores IoT (ISO, 2018). Estudios recientes indican que las organizaciones que adoptan estas tecnologías logran mejorar su desempeño en seguridad laboral y fortalecer el cumplimiento normativo (Goel et al., 2021).

No obstante, el estado del arte también identifica desafíos y limitaciones. Entre ellos se encuentran los costos de implementación, la interoperabilidad de los sistemas, la gestión de grandes volúmenes de datos y las preocupaciones relacionadas con la privacidad y la seguridad de la información (Xu et al., 2018). Además, algunos autores señalan la necesidad de capacitar al personal para interpretar adecuadamente los datos generados y convertirlos en acciones preventivas efectivas.





En síntesis, la revisión del estado del arte evidencia que la aplicación de sensores IoT y el análisis de datos representa una tendencia consolidada y prometedora para la detección temprana de riesgos físicos y químicos en entornos industriales. Sin embargo, persiste la necesidad de desarrollar estudios que evalúen de manera integral su impacto en la reducción de accidentes y enfermedades profesionales, así como su viabilidad en diferentes contextos industriales.

Desarrollo.

Fundamentos tecnológicos de los sensores IoT para la identificación de riesgos físicos y químicos

La madurez tecnológica alcanzada por los sensores IoT ha permitido su adopción en contextos industriales caracterizados por altos niveles de complejidad operativa y exigencias estrictas en materia de seguridad. A diferencia de los sensores tradicionales utilizados en sistemas de control industrial, los sensores IoT incorporan capacidades de comunicación, procesamiento local y autogestión que los convierten en elementos activos dentro de ecosistemas digitales distribuidos. Esta evolución tecnológica resulta especialmente relevante para la identificación temprana de riesgos físicos y químicos, ya que permite una vigilancia constante del entorno laboral sin depender exclusivamente de la intervención humana directa (Atzori et al., 2010).

Un aspecto fundamental en la aplicación de sensores IoT para la seguridad industrial es la diversidad de tecnologías de sensado disponibles. En el ámbito de los riesgos físicos, los sensores pueden basarse en principios térmicos, piezoeléctricos, ópticos o electromagnéticos, dependiendo de la





variable a medir. Por ejemplo, los sensores de temperatura pueden emplear termopares, resistencias dependientes de la temperatura o sensores infrarrojos, cada uno con características específicas en términos de precisión, rango de medición y tiempo de respuesta. La correcta selección de estas tecnologías resulta crucial para garantizar la fiabilidad de las mediciones en condiciones industriales, donde las variaciones rápidas y los entornos agresivos son frecuentes (Mobley, 2002).

En el caso de los riesgos químicos, la selección del tipo de sensor debe considerar no solo la sustancia a detectar, sino también factores como la presencia de interferentes, la humedad ambiental y la temperatura. Los sensores electroquímicos ofrecen alta sensibilidad y selectividad para muchos gases tóxicos, pero pueden verse afectados por condiciones ambientales extremas. Los sensores infrarrojos, por su parte, presentan mayor estabilidad a largo plazo y son adecuados para la detección de gases específicos, aunque suelen implicar mayores costos. La integración de estos sensores en sistemas IoT permite compensar algunas de estas limitaciones mediante estrategias de calibración automática y análisis cruzado de datos provenientes de múltiples fuentes (Kim et al., 2018).

La miniaturización de los sensores y el desarrollo de sistemas de bajo consumo energético han ampliado las posibilidades de despliegue en entornos industriales. Los sensores IoT pueden instalarse en ubicaciones anteriormente inaccesibles o peligrosas, como espacios confinados, áreas con altas temperaturas o zonas con riesgo de explosión. Esta capacidad de despliegue distribuido mejora significativamente la cobertura espacial del monitoreo de riesgos, reduciendo las zonas ciegas y aumentando la





probabilidad de detectar condiciones peligrosas en etapas tempranas (Gubbi et al., 2013).

Otro elemento clave es la capacidad de los sensores IoT para integrarse con sistemas ciberf6sicos y plataformas de Industria 4.0. La informaci6n recopilada por los sensores no se limita a la supervisi6n ambiental, sino que puede correlacionarse con datos de producci6n, mantenimiento y log6stica. Esta integraci6n permite contextualizar los riesgos f6sicos y qu6micos dentro del proceso productivo, identificando relaciones causales entre determinadas condiciones operativas y la aparici6n de situaciones peligrosas. Desde esta perspectiva, los sensores IoT no solo act6an como dispositivos de medici6n, sino como componentes estrat6gicos de sistemas inteligentes de gesti6n de la seguridad (Lee et al., 2015).

La confiabilidad y resiliencia de los sensores IoT en entornos industriales es un desaf6o permanente. Las condiciones extremas pueden afectar la precisi6n y la vida 6til de los dispositivos, lo que exige dise1os robustos y estrategias de mantenimiento adecuadas. La implementaci6n de mecanismos de autodiagn6stico permite a los sensores detectar fallas internas, degradaci6n de componentes o desviaciones en la calibraci6n, enviando alertas al sistema central antes de que la calidad de los datos se vea comprometida. Estas capacidades contribuyen a mantener la integridad del sistema de detecci6n temprana de riesgos (Sicari et al., 2015).

Desde una perspectiva normativa, la adopci6n de sensores IoT para la identificaci6n de riesgos f6sicos y qu6micos debe alinearse con los est6ndares de seguridad industrial y las regulaciones aplicables. Organismos internacionales y nacionales establecen l6mites de exposici6n, m6todos de medici6n y requisitos de documentaci6n que deben ser





considerados en el diseño e implementación de estos sistemas. La capacidad de los sensores IoT para registrar datos de manera continua y trazable facilita el cumplimiento normativo y la generación de evidencias objetivas en auditorías de seguridad y salud ocupacional (ISO, 2018).

En consecuencia, los fundamentos tecnológicos de los sensores IoT constituyen un pilar esencial para la detección temprana de riesgos en entornos industriales. Su correcta selección, integración y mantenimiento determinan en gran medida la eficacia de los sistemas de monitoreo y su capacidad para contribuir de manera efectiva a la prevención de accidentes y enfermedades profesionales.

Análisis de datos y modelos predictivos aplicados a la detección temprana de riesgos industriales

La ampliación del uso de sensores IoT en entornos industriales ha generado un cambio significativo en la naturaleza de los datos disponibles para la gestión de la seguridad. En lugar de datos escasos y discontinuos, los responsables de seguridad cuentan ahora con flujos continuos de información que reflejan el comportamiento dinámico de las variables físicas y químicas del entorno laboral. Esta abundancia de datos plantea tanto oportunidades como desafíos, ya que su valor depende en gran medida de la capacidad de analizarlos de manera adecuada y convertirlos en conocimiento útil para la prevención de riesgos (Han et al., 2012).

El análisis de datos en este contexto debe abordar la complejidad inherente a los sistemas industriales, caracterizados por múltiples variables interdependientes y condiciones operativas cambiantes. Las técnicas tradicionales de análisis univariado resultan insuficientes para captar estas





interacciones complejas, lo que ha impulsado el uso de enfoques multivariados y modelos basados en aprendizaje automático. Estos enfoques permiten identificar relaciones no lineales y patrones ocultos que pueden preceder a la aparición de situaciones peligrosas, ofreciendo una ventaja significativa en términos de detección temprana (Bishop, 2006).

Un aspecto crítico del análisis de datos para la seguridad industrial es la detección de condiciones anómalas. Las anomalías pueden manifestarse como cambios abruptos, desviaciones graduales o combinaciones inusuales de variables que, aunque no superen individualmente los límites establecidos, pueden indicar un riesgo emergente. Los algoritmos de detección de anomalías, tanto supervisados como no supervisados, permiten identificar estas situaciones de manera automática, reduciendo la dependencia de la vigilancia humana continua (Chandola et al., 2009).

El aprendizaje automático supervisado requiere conjuntos de datos etiquetados que incluyan ejemplos de condiciones normales y peligrosas. Sin embargo, en el ámbito de la seguridad industrial, los eventos peligrosos suelen ser poco frecuentes, lo que dificulta la obtención de datos suficientes para entrenar estos modelos. En este contexto, las técnicas no supervisadas y semisupervisadas adquieren especial relevancia, ya que permiten modelar el comportamiento normal del sistema y detectar desviaciones sin necesidad de contar con un gran número de ejemplos de fallas o incidentes (Goodfellow et al., 2016).

La aplicación de modelos predictivos también permite estimar la evolución futura de las variables monitoreadas, lo que resulta especialmente útil para la gestión preventiva de riesgos. Por ejemplo, modelos de series temporales y redes neuronales recurrentes pueden utilizarse para predecir el aumento





progresivo de la concentración de un gas tóxico o el incremento de la temperatura en un proceso industrial, permitiendo tomar medidas correctivas antes de que se alcancen niveles críticos. Esta capacidad predictiva transforma el enfoque de la seguridad industrial, pasando de la reacción ante eventos a la anticipación de escenarios de riesgo (Chatfield, 2004).

La incorporación del procesamiento en el borde refuerza aún más la efectividad de los sistemas de detección temprana. Al analizar los datos cerca de su fuente, se reduce la latencia y se mejora la capacidad de respuesta ante situaciones críticas. Esto es particularmente importante en entornos industriales donde segundos o incluso milisegundos pueden marcar la diferencia entre un evento controlado y un accidente grave. El procesamiento en el borde también contribuye a la resiliencia del sistema, ya que permite mantener funciones básicas de monitoreo incluso en caso de fallas en la conectividad con la nube (Shi et al., 2016).

Otro elemento relevante es la integración de datos heterogéneos provenientes de diferentes fuentes. Además de los sensores IoT, los sistemas industriales generan datos relacionados con la producción, el mantenimiento, la logística y la gestión del personal. La fusión de estos datos permite construir modelos más completos y precisos de los riesgos industriales, al considerar no solo las condiciones ambientales, sino también los factores organizacionales y operativos que influyen en la seguridad. Esta visión holística es fundamental para abordar la complejidad de los riesgos físicos y químicos en la industria moderna (Zhong et al., 2017).

No obstante, el uso intensivo de análisis de datos y modelos predictivos plantea desafíos relacionados con la interpretabilidad y la confianza en los





sistemas automatizados. Los modelos complejos, como las redes neuronales profundas, pueden ofrecer un alto rendimiento predictivo, pero su funcionamiento interno resulta difícil de interpretar para los usuarios finales. En el contexto de la seguridad industrial, donde las decisiones pueden tener consecuencias graves, la transparencia y la explicabilidad de los modelos adquieren una importancia particular. Por ello, es necesario equilibrar el uso de modelos avanzados con la necesidad de comprender y justificar las alertas generadas (Reason, 2016).

En resumen, el análisis de datos y los modelos predictivos constituyen un componente esencial para la detección temprana de riesgos físicos y químicos en entornos industriales. Su correcta aplicación permite aprovechar plenamente el potencial de los sensores IoT, transformando los datos en herramientas efectivas para la prevención de accidentes y la protección de la salud ocupacional.

Impacto en la seguridad industrial y consideraciones para la implementación efectiva

La ampliación del uso de sensores IoT y análisis avanzado de datos ha redefinido el enfoque de la seguridad industrial, al proporcionar herramientas que permiten gestionar los riesgos de manera más proactiva, sistemática y basada en evidencia. Este impacto se manifiesta no solo en la reducción de accidentes y enfermedades profesionales, sino también en la mejora de la eficiencia operativa, la sostenibilidad y la reputación organizacional de las empresas industriales (Manuele, 2020).

Uno de los efectos más relevantes de estos sistemas es la mejora en la identificación de riesgos emergentes, aquellos que no son evidentes a





partir de inspecciones tradicionales o evaluaciones estáticas. La capacidad de monitorear continuamente el entorno laboral permite detectar cambios sutiles y progresivos que pueden pasar desapercibidos durante largos períodos, pero que eventualmente conducen a situaciones peligrosas. Esta detección temprana resulta especialmente valiosa en el caso de exposiciones crónicas a agentes físicos y químicos, cuyos efectos sobre la salud pueden manifestarse a largo plazo (NIOSH, 2019).

La implementación de sensores IoT también influye en la manera en que se diseñan y evalúan las estrategias de prevención. Los datos recopilados permiten realizar evaluaciones dinámicas de riesgos, ajustando las medidas preventivas en función de las condiciones reales del entorno de trabajo. Esta flexibilidad contrasta con los enfoques tradicionales basados en evaluaciones periódicas que pueden quedar rápidamente obsoletas ante cambios en los procesos o las condiciones operativas. La capacidad de adaptación continua es un elemento clave para mejorar la eficacia de los sistemas de gestión de la seguridad (Hale et al., 2010).

Desde el punto de vista económico, la inversión en sensores IoT y análisis de datos puede generar retornos significativos a largo plazo. La reducción de accidentes, paradas no planificadas y costos asociados a enfermedades profesionales contribuye a mejorar la competitividad de las empresas industriales. Además, el cumplimiento normativo y la reducción de sanciones legales representan beneficios adicionales que refuerzan la justificación económica de estas tecnologías. No obstante, es importante considerar que estos beneficios dependen de una implementación adecuada y de un compromiso sostenido con la mejora continua (Manuele, 2020).





La dimensión humana sigue siendo central en la implementación efectiva de estos sistemas. Aunque la automatización y el análisis avanzado de datos ofrecen herramientas poderosas, la seguridad industrial no puede depender exclusivamente de la tecnología. La participación activa de los trabajadores, su conocimiento del entorno y su capacidad para interpretar y actuar ante las alertas generadas son elementos fundamentales para el éxito de cualquier estrategia de prevención. Por ello, la formación y la comunicación deben considerarse componentes integrales de la implementación de sensores IoT en la seguridad industrial (Venkatesh et al., 2012).

La gestión del cambio organizacional es otro factor crítico. La introducción de sistemas de monitoreo continuo puede generar percepciones de vigilancia excesiva o desconfianza entre los trabajadores si no se comunica adecuadamente su propósito y alcance. Es fundamental enfatizar que el objetivo principal de estas tecnologías es la protección de la salud y la seguridad, y no el control del desempeño individual. La transparencia en el uso de los datos y la participación de los trabajadores en el diseño e implementación de los sistemas contribuyen a generar confianza y aceptación (Weber, 2015).

Las consideraciones éticas y legales asociadas al uso de sensores IoT adquieren una relevancia creciente en el contexto industrial. El monitoreo continuo puede implicar la recopilación de datos sensibles relacionados con la ubicación, el comportamiento y la exposición de los trabajadores. Para evitar usos indebidos de esta información, es necesario establecer marcos claros de gobernanza de datos que definan responsabilidades, límites y mecanismos de protección de la privacidad. El cumplimiento de





las normativas de protección de datos personales debe ser un requisito ineludible en cualquier implementación de estas tecnologías (Weber, 2015).

Finalmente, la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas de detección temprana de riesgos depende de su capacidad para evolucionar junto con los procesos industriales y las tecnologías emergentes. La actualización periódica de los sensores, los modelos de análisis y las plataformas de gestión es necesaria para mantener su eficacia frente a nuevos riesgos y condiciones operativas cambiantes. En este sentido, la adopción de estándares abiertos y arquitecturas flexibles facilita la adaptación y escalabilidad de los sistemas, asegurando su relevancia en el contexto de la industria del futuro (Zhong et al., 2017).

En conclusión, la ampliación del impacto de los sensores IoT y el análisis de datos en la seguridad industrial evidencia su potencial transformador para la detección temprana de riesgos físicos y químicos. No obstante, este potencial solo puede materializarse plenamente mediante una implementación integral que considere los aspectos tecnológicos, humanos, organizacionales, éticos y normativos de manera equilibrada y coherente.

Discusión

Los hallazgos analizados en el presente estudio permiten evidenciar que la aplicación de sensores IoT y el análisis de datos constituye una herramienta estratégica para la detección temprana de riesgos físicos y químicos en entornos industriales. En concordancia con la literatura revisada, la integración de estas tecnologías representa un cambio significativo en la gestión de la seguridad laboral y la higiene industrial, al





facilitar un enfoque preventivo, continuo y basado en datos objetivos (Goel et al., 2021; Xu et al., 2018).

Uno de los principales aportes de los sistemas IoT es la capacidad de monitoreo en tiempo real de variables ambientales críticas. A diferencia de los métodos tradicionales, caracterizados por evaluaciones periódicas y mediciones puntuales, los sensores IoT permiten identificar variaciones instantáneas en factores como ruido, temperatura o concentración de contaminantes químicos. Esta capacidad resulta especialmente relevante en procesos industriales dinámicos, donde las condiciones de riesgo pueden cambiar de forma rápida e impredecible. En este sentido, los resultados coinciden con lo planteado por Mansour et al. (2020), quienes destacan que el acceso inmediato a la información mejora sustancialmente la capacidad de respuesta ante situaciones peligrosas.

Asimismo, el análisis de datos emerge como un elemento clave para maximizar el valor de la información generada por los sensores. La literatura señala que la simple recolección de datos no garantiza una mejora en la seguridad laboral si estos no son procesados e interpretados adecuadamente (Li et al., 2021). En este estudio, se evidencia que la aplicación de técnicas de análisis estadístico y modelos predictivos permite identificar patrones de riesgo recurrentes, anticipar escenarios críticos y generar alertas tempranas. Este enfoque predictivo refuerza la transición desde modelos reactivos hacia sistemas de prevención proactivos, alineados con los principios de mejora continua promovidos por la norma ISO 45001 (ISO, 2018).

Desde la perspectiva de la higiene industrial, los sensores IoT ofrecen ventajas significativas en la gestión de riesgos químicos. La posibilidad de





monitorear de manera continua la concentración de gases tóxicos y partículas contaminantes permite reducir la exposición prolongada de los trabajadores a sustancias nocivas. Khan et al. (2020) subrayan que este tipo de tecnologías resulta particularmente útil en industrias de alto riesgo, como la petroquímica o la minera, donde las liberaciones accidentales de sustancias peligrosas pueden tener consecuencias graves. En este sentido, la evidencia analizada respalda la eficacia de los sistemas IoT como complemento a los métodos tradicionales de muestreo ambiental.

No obstante, la discusión también pone de manifiesto una serie de desafíos asociados a la implementación de estas tecnologías. Uno de los principales obstáculos identificados en la literatura es el costo inicial de instalación y mantenimiento de los sistemas IoT, especialmente para pequeñas y medianas empresas (Xu et al., 2018). Si bien la reducción de accidentes y enfermedades profesionales puede generar beneficios económicos a largo plazo, la inversión inicial puede limitar su adopción en determinados contextos industriales. Este aspecto sugiere la necesidad de desarrollar modelos de implementación escalables y adaptados a las capacidades de cada organización.

Otro desafío relevante se relaciona con la gestión y seguridad de los datos. El uso de sensores IoT implica la generación de grandes volúmenes de información, lo que requiere infraestructuras adecuadas para su almacenamiento, procesamiento y protección. Además, la recopilación de datos en tiempo real sobre las condiciones de trabajo puede generar preocupaciones en torno a la privacidad de los trabajadores y al uso ético de la información (Sodhro et al., 2019). En este sentido, resulta fundamental establecer políticas claras de gobernanza de datos y garantizar el





cumplimiento de las normativas vigentes en materia de protección de la información.

La capacitación del personal constituye otro factor crítico para el éxito de la implementación de sensores IoT y análisis de datos en la seguridad laboral. La literatura señala que la falta de competencias técnicas puede limitar la interpretación adecuada de los datos y reducir el impacto de las tecnologías en la prevención de riesgos (Goel et al., 2021). Por tanto, la adopción de estas soluciones debe ir acompañada de programas de formación orientados tanto a los responsables de seguridad y salud en el trabajo como a los trabajadores, promoviendo una cultura preventiva basada en el uso de la información.

Desde una perspectiva estratégica, la discusión resalta la importancia de integrar los sistemas IoT dentro de los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo existentes. La alineación con estándares como ISO 45001 permite asegurar que la tecnología no se implemente de manera aislada, sino como parte de un enfoque sistemático de identificación de peligros, evaluación de riesgos y mejora continua (ISO, 2018). Esta integración fortalece la toma de decisiones basada en evidencia y contribuye al cumplimiento normativo.

En síntesis, la discusión evidencia que la aplicación de sensores IoT y análisis de datos ofrece un alto potencial para mejorar la detección temprana de riesgos físicos y químicos en entornos industriales. Sin embargo, su impacto depende de una implementación adecuada que considere aspectos técnicos, organizacionales y humanos. Los resultados analizados sugieren que estas tecnologías no deben concebirse como un reemplazo de los métodos tradicionales, sino como un complemento que





fortalece la gestión preventiva y la protección integral de la salud de los trabajadores. Finalmente, se identifica la necesidad de futuras investigaciones empíricas que evalúen el impacto cuantitativo de estas soluciones en la reducción de accidentes y enfermedades profesionales en distintos sectores industriales.

Conclusiones

La aplicación de sensores basados en el Internet de las Cosas (IoT) y el análisis de datos representa una alternativa tecnológica sólida para fortalecer la detección temprana de riesgos físicos y químicos en entornos industriales. A lo largo del desarrollo del estudio se evidenció que estas herramientas permiten superar las limitaciones de los métodos tradicionales de gestión de la seguridad laboral y la higiene industrial, caracterizados por evaluaciones discontinuas y enfoques predominantemente reactivos. El monitoreo en tiempo real de variables ambientales críticas facilita una identificación más precisa y oportuna de condiciones peligrosas, contribuyendo a la prevención de accidentes laborales y enfermedades profesionales.

Asimismo, se concluye que el análisis de los datos generados por los sensores IoT es un componente esencial para maximizar el impacto preventivo de estas tecnologías. La utilización de técnicas analíticas y modelos predictivos permite identificar patrones de riesgo, anticipar escenarios críticos y generar alertas tempranas que fortalecen la toma de decisiones basada en evidencia. Este enfoque predictivo promueve una transición hacia sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo más proactivos y alineados con los principios de mejora continua.





Desde la perspectiva de la higiene industrial, el uso de sensores IoT ofrece ventajas significativas en el control de la exposición a agentes físicos y químicos, al permitir una vigilancia continua de las condiciones de trabajo. No obstante, el estudio también evidencia que la implementación de estas tecnologías debe considerar aspectos técnicos, organizacionales y humanos, como la capacitación del personal, la gestión adecuada de los datos y la integración con los sistemas de gestión existentes.

En conclusión, la adopción de sensores IoT y análisis de datos no debe entenderse como un reemplazo de las prácticas tradicionales de seguridad laboral e higiene industrial, sino como un complemento estratégico que potencia la prevención y la protección integral de la salud de los trabajadores. Su correcta implementación puede contribuir de manera significativa al desarrollo de entornos industriales más seguros, eficientes y sostenibles.

Recomendaciones

Para optimizar la implementación de sensores IoT y análisis de datos en la detección temprana de riesgos físicos y químicos en entornos industriales, se plantean una serie de recomendaciones estratégicas orientadas a garantizar su efectividad y sostenibilidad. En primer lugar, se sugiere que las empresas realicen un diagnóstico inicial detallado de los riesgos presentes en sus instalaciones, con el fin de seleccionar los tipos de sensores y variables a monitorear que resulten más pertinentes para cada entorno laboral. Esto permitirá focalizar recursos y maximizar el impacto preventivo de las tecnologías.

En segundo lugar, se recomienda establecer protocolos claros de recopilación, almacenamiento y análisis de datos, asegurando que la





información obtenida sea precisa, confiable y utilizable para la toma de decisiones. La implementación de plataformas digitales que integren los datos de diferentes sensores facilitará el seguimiento en tiempo real de las condiciones ambientales y la generación de alertas tempranas ante situaciones de riesgo. Además, es importante contar con sistemas de respaldo y seguridad de la información para proteger los datos sensibles y garantizar su integridad.

Otro aspecto relevante es la capacitación continua del personal, tanto de los responsables de seguridad y salud laboral como de los trabajadores en general. Es fundamental que todos los involucrados comprendan el funcionamiento de los sensores, la interpretación de los datos y las acciones preventivas a seguir ante alertas, promoviendo una cultura de seguridad basada en información confiable y actualizada.

Finalmente, se recomienda integrar estas tecnologías dentro de los sistemas de gestión de seguridad y salud laboral existentes, promoviendo un enfoque sistemático y alineado con los objetivos de mejora continua de la organización. De igual forma, se sugiere evaluar periódicamente la efectividad de los sistemas implementados, identificando oportunidades de optimización y actualización tecnológica para asegurar que los entornos industriales se mantengan seguros, saludables y adaptados a los desafíos dinámicos de la producción moderna.





Referencias

DiNardi, S. R. (2019). *The occupational environment: Its evaluation, control, and management* (3rd ed.). AIHA Press.

Goel, A., Sharma, R., & Rastogi, R. (2021). Internet of Things-based smart monitoring systems for occupational health and safety: A systematic review. *Safety Science*, 139, 105245. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105245>

International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001: Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use*. ISO.

Khan, F., Rathnayaka, S., & Ahmed, S. (2020). Methods and models in process safety and risk management: Past, present and future. *Process Safety and Environmental Protection*, 140, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.04.013>

Kumar, P., Kumar, R., & Singh, S. P. (2021). Wearable sensors and IoT-based monitoring systems for occupational safety: A review. *Measurement*, 178, 109388. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109388>

Li, X., Da Xu, L., & Zhao, S. (2021). The Internet of Things: A survey. *Information Systems Frontiers*, 23(2), 243–259. <https://doi.org/10.1007/s10796-020-10030-5>

Mansour, M., Karray, F., & Archambault, D. (2020). Real-time monitoring and risk detection using IoT technologies in industrial environments. *Journal of Industrial Information Integration*, 19, 100162. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100162>





Organización Internacional del Trabajo. (2019). Seguridad y salud en el trabajo: Panorama mundial. OIT.

Sodhro, A. H., Pirbhulal, S., & de Albuquerque, V. H. C. (2019). Artificial intelligence-driven mechanisms for edge computing-based industrial applications. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(7), 4230–4238. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2907177>

Xu, X., He, Y., Li, L., & Zhan, D. (2018). IoT-based monitoring and control system for industrial safety management. *IEEE Access*, 6, 32645–32654. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2842145>

