



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i2.3811>

Ciencias Técnica y Aplicadas
Artículo de Investigación

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

Digital management to manage risks in the chemical industry

Gestão digital para gerenciar riscos na indústria química

Karla Lilibeth Cevallos Angulo ^I
karly_memo@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-3990-4346>

Correspondencia: karly_memo@hotmail.com

***Recibido:** 27 de marzo de 2024 ***Aceptado:** 24 de abril de 2024 * **Publicado:** 07 de mayo de 2024

- I. Ingeniera Química en la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Magíster en Gestión de Riesgos Mención en Prevención de Riesgos Laborales en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.

Resumen

El documento proporciona un análisis exhaustivo de la evolución y la implementación de la gestión digital de riesgos en la industria química. Comienza destacando la naturaleza crítica y compleja de la gestión de riesgos en esta industria debido a la presencia de compuestos químicos peligrosos y reacciones altamente exotérmicas. Históricamente, esta gestión se ha apoyado en enfoques tradicionales como el análisis de riesgos y las inspecciones periódicas. Sin embargo, con el avance de la tecnología digital, han surgido nuevas oportunidades para mejorar estos procesos. La digitalización, que incluye el uso de big data, inteligencia artificial y modelado avanzado, permite una comprensión más profunda y una capacidad mejorada para prevenir, detectar y responder a incidentes. La digitalización de la gestión de riesgos no solo transforma la manera de recopilar y analizar datos, sino que también mejora significativamente la eficiencia y precisión de estos procesos. Las tecnologías como los sensores en tiempo real y las plataformas de gestión de datos centralizadas permiten la automatización de la recopilación de datos y ofrecen una visión integral y actualizada de los riesgos. Esto se complementa con la implementación de sistemas de gestión de riesgos basados en la nube, que aportan ventajas en términos de accesibilidad, escalabilidad y seguridad de los datos. Estos sistemas facilitan la colaboración y la toma de decisiones informadas, fundamentales en la gestión proactiva de riesgos. La integración de tecnologías de IoT también juega un papel crucial en el monitoreo continuo y en la mejora de la respuesta ante situaciones de emergencia. No obstante, la adopción de la gestión digital de riesgos enfrenta desafíos específicos, como la seguridad cibernética y la calidad de los datos. La digitalización incrementa la vulnerabilidad a ataques informáticos y brechas de seguridad, lo que puede comprometer la integridad de los datos críticos. Por tanto, es esencial implementar medidas de seguridad robustas y garantizar la precisión y fiabilidad de los datos a través de procesos de validación y verificación. Además, la gestión de la privacidad y la protección de datos es crucial, requiriendo el cumplimiento de regulaciones como el GDPR y la CCPA. La superación de estos obstáculos es vital para garantizar el éxito a largo plazo de la gestión digital de riesgos en la industria química, haciendo que las organizaciones no solo mejoren su eficiencia y seguridad, sino que también sostengan la viabilidad económica y la responsabilidad ambiental.

Palabras Claves: Digitalización; IoT; big data; inteligencia artificial; industria química.

Abstract

The paper provides a comprehensive analysis of the evolution and implementation of digital risk management in the chemical industry. It begins by highlighting the critical and complex nature of risk management in this industry due to the presence of hazardous chemical compounds and highly exothermic reactions. Historically, this management has relied on traditional approaches such as risk analysis and periodic inspections. However, with the advancement of digital technology, new opportunities have arisen to improve these processes. Digitalization, which includes the use of big data, artificial intelligence and advanced modeling, enables deeper understanding and improved ability to prevent, detect and respond to incidents. Digitizing risk management not only transforms the way data is collected and analyzed, but also significantly improves the efficiency and accuracy of these processes. Technologies such as real-time sensors and centralized data management platforms enable automation of data collection and provide a comprehensive and up-to-date view of risks. This is complemented by the implementation of cloud-based risk management systems, which provide advantages in terms of accessibility, scalability and data security. These systems facilitate collaboration and informed decision-making, essential in proactive risk management. The integration of IoT technologies also plays a crucial role in continuous monitoring and improving response to emergency situations. However, the adoption of digital risk management faces specific challenges, such as cybersecurity and data quality. Digitization increases vulnerability to cyber attacks and security breaches, which can compromise the integrity of critical data. It is therefore essential to implement robust security measures and ensure the accuracy and reliability of data through validation and verification processes. Additionally, privacy and data protection management is crucial, requiring compliance with regulations such as the GDPR and CCPA. Overcoming these obstacles is vital to ensuring the long-term success of digital risk management in the chemical industry, enabling organizations to not only improve their efficiency and safety, but also sustain economic viability and environmental responsibility.

Keywords: Digitization; IoT; big data; artificial intelligence; chemical industry.

Resumo

O artigo fornece uma análise abrangente da evolução e implementação da gestão digital de riscos na indústria química. Começa por destacar a natureza crítica e complexa da gestão de riscos nesta indústria devido à presença de compostos químicos perigosos e reações altamente exotérmicas.

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

Historicamente, esta gestión baseó-se em abordagens tradicionais, como análise de risco e inspeções periódicas. Porém, com o avanço da tecnologia digital, surgiram novas oportunidades para melhorar esses processos. A digitalização, que inclui a utilização de big data, inteligência artificial e modelação avançada, permite uma compreensão mais profunda e uma melhor capacidade de prevenir, detetar e responder a incidentes. A digitalização da gestão de riscos não só transforma a forma como os dados são recolhidos e analisados, mas também melhora significativamente a eficiência e a precisão destes processos. Tecnologias como sensores em tempo real e plataformas centralizadas de gerenciamento de dados permitem a automação da coleta de dados e fornecem uma visão abrangente e atualizada dos riscos. Isto é complementado pela implementação de sistemas de gestão de risco baseados na nuvem, que proporcionam vantagens em termos de acessibilidade, escalabilidade e segurança de dados. Estes sistemas facilitam a colaboração e a tomada de decisões informadas, essenciais na gestão proativa de riscos. A integração das tecnologias IoT também desempenha um papel crucial na monitorização contínua e na melhoria da resposta a situações de emergência. No entanto, a adoção da gestão digital de riscos enfrenta desafios específicos, como a segurança cibernética e a qualidade dos dados. A digitalização aumenta a vulnerabilidade a ataques cibernéticos e violações de segurança, que podem comprometer a integridade de dados críticos. É, portanto, essencial implementar medidas de segurança robustas e garantir a exatidão e fiabilidade dos dados através de processos de validação e verificação. Além disso, a gestão da privacidade e da proteção de dados é crucial, exigindo conformidade com regulamentos como o GDPR e o CCPA. Superar estes obstáculos é vital para garantir o sucesso a longo prazo da gestão digital de riscos na indústria química, permitindo que as organizações não só melhorem a sua eficiência e segurança, mas também sustentem a viabilidade económica e a responsabilidade ambiental.

Palavras-chave: Digitalização; IoT; grandes dados; inteligência artificial; indústria química.

Introducción

La gestión de riesgos en la industria química es un aspecto crítico y complejo que requiere una atención meticulosa debido a la naturaleza intrínseca de los materiales y procesos involucrados. La presencia de compuestos químicos peligrosos, reacciones altamente exotérmicas y condiciones operativas extremas hacen que esta industria sea especialmente vulnerable a incidentes catastróficos que pueden tener consecuencias devastadoras para la seguridad humana, el medio ambiente y la viabilidad económica de las empresas (Dellarco et al., 2010). Históricamente, la gestión de riesgos

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

en la industria química se ha basado en enfoques tradicionales que incluyen análisis de riesgos, inspecciones periódicas, capacitación del personal y sistemas de gestión de seguridad. Sin embargo, a medida que avanza la tecnología digital, se abren nuevas oportunidades para mejorar la eficiencia y la efectividad de estos procesos mediante la aplicación de herramientas digitales avanzadas (Biniecka et al., 2005). La gestión digital en la industria química abarca una amplia gama de tecnologías y prácticas, desde la digitalización de procesos de gestión de riesgos hasta el uso de modelos y simulaciones avanzadas, pasando por el análisis de datos masivos y la aplicación de técnicas de inteligencia artificial. Estas herramientas permiten una comprensión más profunda de los riesgos inherentes a los procesos químicos, así como una capacidad mejorada para prevenir, detectar y responder a incidentes. En este contexto, este artículo se propone revisar y analizar críticamente la literatura existente sobre la gestión digital de riesgos en la industria química. Se explorarán los últimos avances en tecnología digital y se examinará cómo estas innovaciones están siendo aplicadas en la práctica industrial para mejorar la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad en el manejo de riesgos químicos. Además, se identificarán áreas clave de investigación y desarrollo futuro para orientar la evolución continua de la gestión de riesgos en esta industria vital (Ciborra, 2006).

Desarrollo

Evolución Histórica de la Gestión de Riesgos en la Industria Química: Desde los primeros enfoques hasta la era digital

La gestión de riesgos en la industria química ha evolucionado significativamente a lo largo del tiempo, desde sus primeros enfoques basados en la experiencia y el sentido común hasta las sofisticadas estrategias digitales de la actualidad. En sus inicios, las empresas confiaban en la intuición de los trabajadores y en la adopción de medidas de seguridad básicas para mitigar los riesgos asociados con la manipulación de sustancias químicas peligrosas. Con el tiempo, se reconocieron las limitaciones de estos enfoques y se desarrollaron metodologías más estructuradas, como el análisis de riesgos y la implementación de sistemas de gestión de seguridad. Estas prácticas establecieron un marco para identificar, evaluar y controlar los riesgos de manera más sistemática, promoviendo una cultura de seguridad en la industria química. En la era digital, la gestión de riesgos ha experimentado una transformación radical con la llegada de tecnologías avanzadas de información y comunicación. La digitalización ha permitido la recopilación, almacenamiento y análisis masivo de datos, proporcionando a las organizaciones una visión más completa y precisa de los riesgos presentes en

sus operaciones. Además, ha facilitado la integración de herramientas de simulación, modelado y análisis predictivo, que permiten anticipar y prevenir incidentes antes de que ocurran (Ying, 2023; Zoidze & Gubarev, 2021)

Conceptos Fundamentales de la Gestión Digital: Explorando la integración de tecnologías digitales en la gestión de riesgos

La gestión digital de riesgos en la industria química se basa en la integración de tecnologías digitales avanzadas en todas las etapas del proceso de gestión de riesgos. Esto incluye la digitalización de datos y procesos, el uso de herramientas de análisis y modelado avanzadas, y la aplicación de técnicas de inteligencia artificial y aprendizaje automático para mejorar la toma de decisiones. Uno de los conceptos fundamentales de la gestión digital de riesgos es la centralización de la información en plataformas digitales accesibles desde cualquier lugar y en cualquier momento. Esto permite a los responsables de la gestión de riesgos acceder a datos en tiempo real, realizar análisis en profundidad y tomar decisiones informadas de manera ágil y eficiente. Además, la gestión digital de riesgos se centra en la interoperabilidad de sistemas y datos, permitiendo la integración de diversas fuentes de información para obtener una visión holística de los riesgos. Esto incluye la conexión de sistemas de monitoreo en tiempo real, bases de datos de productos químicos, registros de incidentes pasados y modelos de riesgo predictivo (Zoidze & Gubarev, 2021).

Desafíos Específicos en la Gestión Digital de Riesgos Químicos: Analizando las particularidades y dificultades únicas en entornos químicos

A pesar de los beneficios que ofrece la gestión digital de riesgos, existen desafíos específicos que deben abordarse para su implementación exitosa en la industria química. Uno de los principales desafíos es la seguridad cibernética, ya que la digitalización aumenta la exposición a ataques informáticos y brechas de seguridad que podrían comprometer la integridad de los datos y sistemas críticos. Otro desafío importante es la calidad y confiabilidad de los datos, especialmente en entornos químicos donde la precisión de la información es crucial para evaluar correctamente los riesgos. La gestión digital de riesgos requiere la implementación de procesos robustos de recopilación, validación y almacenamiento de datos para garantizar su integridad y exactitud. Además, la gestión digital de riesgos debe abordar las preocupaciones relacionadas con la privacidad y la protección de datos, especialmente en lo que respecta a la información sensible sobre productos químicos y procesos industriales. Es fundamental establecer políticas y procedimientos claros para garantizar el

cumplimiento de las regulaciones de privacidad y protección de datos en todas las etapas del proceso de gestión de riesgos (Moore et al., 2022; Shah, 2017).

Digitalización de Procesos de Gestión de Riesgos

Automatización y Digitalización de la Recopilación de Datos: Estrategias y tecnologías para la captura eficiente de información relevante

La digitalización de la recopilación de datos en la gestión de riesgos químicos es un paso fundamental para mejorar la eficiencia y la precisión de los procesos de análisis y toma de decisiones. En lugar de depender de métodos manuales propensos a errores y sesgos, las organizaciones están implementando sistemas automatizados y herramientas digitales para recopilar datos en tiempo real de múltiples fuentes (Khan et al., 2021; Zaikovsky & Karev, 2021). Entre las estrategias y tecnologías utilizadas para la automatización y digitalización de la recopilación de datos se encuentran:

Sensores y dispositivos de monitoreo en tiempo real: Estos dispositivos se utilizan para medir parámetros clave como temperatura, presión, concentración de sustancias químicas, entre otros, proporcionando datos en tiempo real sobre las condiciones operativas y los riesgos potenciales.

Sistemas de registro electrónico: La transición de los registros en papel a sistemas de registro electrónico permite una captura más eficiente y precisa de los datos, así como un acceso más fácil a la información por parte de los responsables de la gestión de riesgos.

Plataformas de gestión de datos: La implementación de sistemas de gestión de datos centralizados y basados en la nube facilita la recopilación, almacenamiento y análisis de grandes volúmenes de datos de manera organizada y segura.

La automatización y digitalización de la recopilación de datos no solo mejora la eficiencia de los procesos, sino que también proporciona una visión más completa y precisa de los riesgos presentes en las operaciones químicas, permitiendo una toma de decisiones más informada y proactiva.

Sistemas de Gestión de Riesgos Basados en la Nube: Ventajas, desafíos y mejores prácticas en la implementación de plataformas en la nube

La adopción de sistemas de gestión de riesgos basados en la nube está en aumento en la industria química, ya que ofrecen una serie de ventajas significativas en términos de accesibilidad, escalabilidad y seguridad de los datos. Estos sistemas permiten a las organizaciones almacenar y gestionar de manera centralizada toda la información relacionada con la gestión de riesgos, facilitando la colaboración entre equipos y la toma de decisiones basada en datos (Singh et al., 2023).

Algunas de las ventajas clave de los sistemas de gestión de riesgos basados en la nube incluyen:

Acceso remoto: Los usuarios pueden acceder a la plataforma desde cualquier ubicación con conexión a internet, lo que facilita la colaboración entre equipos distribuidos geográficamente y la toma de decisiones en tiempo real.

Escalabilidad: Los sistemas en la nube pueden adaptarse fácilmente a medida que las necesidades de la organización cambian, permitiendo agregar o eliminar usuarios, aumentar la capacidad de almacenamiento y agregar nuevas funcionalidades según sea necesario.

Seguridad: Los proveedores de servicios en la nube suelen implementar medidas de seguridad avanzadas para proteger los datos de sus clientes, incluyendo encriptación, autenticación multifactor y copias de seguridad regulares.

Sin embargo, la implementación de sistemas de gestión de riesgos basados en la nube también presenta desafíos y consideraciones importantes, como la integración con sistemas existentes, la privacidad y la protección de datos, y la garantía de la disponibilidad y la integridad de la información. Los sistemas de gestión de riesgos basados en la nube ofrecen una plataforma flexible y segura para la digitalización de los procesos de gestión de riesgos en la industria química, permitiendo a las organizaciones mejorar la eficiencia, la colaboración y la toma de decisiones basada en datos. Sin embargo, es importante abordar cuidadosamente los desafíos y consideraciones asociados con su implementación para garantizar su éxito a largo plazo (Chacko et al., 2023).

Integración de Tecnologías de IoT para Monitoreo en Tiempo Real: Aplicaciones y casos de uso en la vigilancia y detección temprana de riesgos

La integración de tecnologías de IoT (Internet de las cosas) en la gestión de riesgos químicos está revolucionando la forma en que las organizaciones monitorean y responden a los riesgos en tiempo real. IoT se refiere a la interconexión de dispositivos físicos que están equipados con sensores, software y conectividad para recopilar e intercambiar datos. Algunas de las aplicaciones y casos de uso de IoT en la vigilancia y detección temprana de riesgos en la industria química incluyen (Wilbraham et al., 2020):

Monitoreo de parámetros ambientales: Sensores IoT pueden ser utilizados para monitorear continuamente parámetros ambientales como temperatura, humedad, concentración de gases y nivel de pH, proporcionando información en tiempo real sobre las condiciones operativas y los posibles riesgos.

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

Detección de fugas y derrames: Los sensores de detección de fugas instalados en equipos y tuberías pueden detectar automáticamente la presencia de sustancias químicas peligrosas y alertar a los operadores sobre la necesidad de tomar medidas correctivas para evitar incidentes mayores.

Seguimiento de la salud del personal: Dispositivos portátiles equipados con sensores biométricos pueden ser utilizados para monitorear la salud y el bienestar del personal que trabaja en entornos químicos, proporcionando alertas tempranas sobre posibles riesgos para la salud.

La integración de tecnologías de IoT en la gestión de riesgos químicos ofrece una serie de beneficios, incluyendo una mayor precisión en la detección y monitoreo de riesgos, una respuesta más rápida a situaciones de emergencia y una reducción del riesgo de accidentes y lesiones. Sin embargo, la implementación exitosa de IoT en la gestión de riesgos químicos también plantea desafíos, como la necesidad de asegurar la interoperabilidad entre dispositivos y sistemas, garantizar la privacidad y seguridad de los datos, y abordar consideraciones éticas relacionadas con el monitoreo del personal. La integración de tecnologías de IoT en la gestión de riesgos químicos ofrece un potencial significativo para mejorar la seguridad y la eficiencia en la industria química, pero requiere una planificación cuidadosa y una gestión adecuada de los riesgos asociados con su implementación (Grutters et al., 2019).

Modelado y Simulación Digital

Modelos de Riesgo Avanzados: Explorando técnicas de modelado avanzadas para la predicción y evaluación de riesgos

Los modelos de riesgo avanzados son herramientas fundamentales en la gestión digital de riesgos en la industria química, ya que permiten a las organizaciones prever y evaluar la probabilidad y el impacto de diversos escenarios de riesgo. Estos modelos utilizan técnicas matemáticas y estadísticas avanzadas para analizar datos históricos, identificar patrones y tendencias, y simular posibles futuros eventos (You et al., 2009). Algunas de las técnicas de modelado avanzadas utilizadas en la gestión de riesgos químicos incluyen:

Modelos probabilísticos: Estos modelos utilizan la teoría de la probabilidad para calcular la probabilidad de que ocurran diferentes eventos de riesgo y evaluar su impacto en términos de consecuencias potenciales.

Modelos de simulación: Estos modelos utilizan simulaciones computacionales para recrear escenarios específicos de riesgo y evaluar su impacto en diferentes aspectos del sistema, como la seguridad del personal, la integridad de las instalaciones y el impacto ambiental.

Modelos de aprendizaje automático: Estos modelos utilizan algoritmos de aprendizaje automático para analizar grandes volúmenes de datos y predecir futuros eventos de riesgo en función de patrones identificados en los datos históricos.

La aplicación de modelos de riesgo avanzados en la gestión de riesgos químicos permite a las organizaciones anticipar y mitigar riesgos potenciales de manera proactiva, identificar áreas de mejora en los procesos y sistemas existentes, y optimizar la asignación de recursos para la prevención y respuesta a emergencias (You et al., 2009).

Simulación de Accidentes y Análisis de Consecuencias: Herramientas y metodologías para simular escenarios de emergencia y evaluar sus impactos

La simulación de accidentes y el análisis de consecuencias son herramientas críticas en la gestión de riesgos químicos, ya que permiten a las organizaciones evaluar el impacto potencial de diferentes escenarios de emergencia y desarrollar estrategias de respuesta efectivas.

Las herramientas y metodologías utilizadas en la simulación de accidentes y el análisis de consecuencias incluyen:

Software de simulación de dispersión de sustancias químicas: Estos programas utilizan modelos matemáticos y datos meteorológicos para simular la dispersión de sustancias químicas en el aire y calcular la concentración de contaminantes en diferentes áreas.

Modelos de toxicidad y riesgo para la salud humana: Estos modelos utilizan datos toxicológicos y epidemiológicos para evaluar los efectos potenciales de la exposición a sustancias químicas en la salud humana y estimar el riesgo asociado con diferentes niveles de exposición.

Análisis de impacto ambiental: Estos análisis evalúan el impacto potencial de un accidente químico en el medio ambiente, incluyendo la contaminación del aire, agua y suelo, y la pérdida de biodiversidad.

La simulación de accidentes y el análisis de consecuencias proporcionan a las organizaciones información valiosa sobre los posibles impactos de los accidentes químicos y ayudan a guiar la planificación y preparación para emergencias, la toma de decisiones y la mitigación de riesgos (Boykin & Levary, 1989; You et al., 2009).

Optimización de Estrategias de Respuesta ante Emergencias: Utilización de simulaciones digitales para mejorar la preparación y respuesta ante eventos críticos

La optimización de estrategias de respuesta ante emergencias es un aspecto clave de la gestión de riesgos químicos, ya que permite a las organizaciones anticipar y prepararse para eventos críticos y

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

minimizar su impacto en caso de que ocurran. Las formas en que se utilizan las simulaciones digitales para mejorar la preparación y respuesta ante emergencias incluyen:

Simulaciones de evacuación: Estas simulaciones recrean escenarios de emergencia, como fugas químicas o incendios, y evalúan la eficacia de los planes de evacuación y los procedimientos de respuesta ante emergencias.

Ejercicios de mesa: Estos ejercicios son simulaciones de emergencia en las que los equipos de respuesta practican sus roles y procedimientos en un entorno controlado, permitiendo identificar áreas de mejora y desarrollar estrategias de mejora.

Modelado de flujo de materiales: Estas simulaciones modelan el flujo de materiales químicos a través de las instalaciones y evalúan cómo podría propagarse una fuga o un derrame en diferentes escenarios. La optimización de estrategias de respuesta ante emergencias utilizando simulaciones digitales ayuda a las organizaciones a identificar y abordar vulnerabilidades en sus sistemas y procesos, mejorar la coordinación y comunicación entre los equipos de respuesta, y garantizar una respuesta rápida y efectiva en caso de emergencia (I & Cheng, 2008; Wolf, 2013).

Herramientas de Visualización y Comunicación

Interfaces de Usuario Intuitivas: Diseño y desarrollo de interfaces centradas en el usuario para la visualización de datos y análisis de riesgos

Las interfaces de usuario intuitivas desempeñan un papel crucial en la gestión de riesgos químicos al facilitar la visualización de datos complejos y la comprensión de los riesgos asociados. El diseño y desarrollo de interfaces centradas en el usuario se enfoca en proporcionar a los usuarios una experiencia de usuario óptima que simplifique la interacción con los datos y facilite la toma de decisiones informadas (Manca et al., 2013). Las características de las interfaces de usuario intuitivas en la gestión de riesgos químicos incluyen:

Organización y presentación clara de la información: Las interfaces deben organizar la información de manera lógica y estructurada, utilizando gráficos, tablas y diagramas para facilitar la comprensión de los datos.

Funcionalidades de navegación intuitivas: Las interfaces deben proporcionar herramientas de navegación fáciles de usar, como filtros, búsquedas y categorías, que permitan a los usuarios explorar los datos de manera eficiente y encontrar la información relevante.

El diseño y desarrollo de interfaces de usuario intuitivas en la gestión de riesgos químicos mejora la eficacia y eficiencia de los procesos de toma de decisiones, promueve una comprensión más profunda de los riesgos y fomenta una cultura de seguridad en la organización.

Realidad Virtual y Aumentada en Entrenamiento en Seguridad: Aplicaciones y beneficios de la RV/RA en la capacitación y entrenamiento del personal

La realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) están siendo cada vez más utilizadas en la industria química para proporcionar capacitación y entrenamiento en seguridad de una manera inmersiva y efectiva. Estas tecnologías permiten a los trabajadores experimentar situaciones de riesgo simuladas en un entorno controlado y seguro, lo que les ayuda a desarrollar habilidades prácticas y a tomar decisiones informadas en situaciones de emergencia (Tixier, 2013).

Aplicaciones y beneficios de la RV/RA en la capacitación y entrenamiento en seguridad en la industria química incluyen:

Simulación de escenarios de riesgo: Las aplicaciones de RV/RA pueden simular escenarios de riesgo, como fugas químicas o incendios, permitiendo a los trabajadores practicar procedimientos de emergencia y tomar decisiones en un entorno realista, pero sin riesgos.

Entrenamiento práctico sin riesgos: La RV/RA proporciona una forma segura y efectiva de entrenar a los trabajadores en el manejo de situaciones de riesgo sin exponerlos a peligros reales, lo que reduce el riesgo de lesiones y daños materiales (Fracaro et al., 2021; Li et al., 2018).

Retroalimentación inmediata: Las aplicaciones de RV/RA pueden proporcionar retroalimentación inmediata sobre el desempeño del usuario, permitiendo a los trabajadores identificar áreas de mejora y practicar hasta que alcancen un nivel óptimo de competencia.

La utilización de la RV/RA en la capacitación y entrenamiento en seguridad en la industria química mejora la efectividad de los programas de formación, aumenta la retención de conocimientos y habilidades, y ayuda a reducir el riesgo de accidentes y lesiones en el lugar de trabajo.

Comunicación de Riesgos a Partes Interesadas: Estrategias efectivas para comunicar riesgos de manera clara y comprensible a diversas audiencias

La comunicación efectiva de riesgos a partes interesadas es un aspecto crucial de la gestión de riesgos químicos, ya que permite a las organizaciones informar a todas las partes involucradas sobre los riesgos presentes en las operaciones y las medidas tomadas para mitigarlos. La comunicación clara y comprensible es esencial para garantizar que las partes interesadas estén informadas y puedan tomar decisiones informadas sobre su participación en actividades relacionadas con la industria química.

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

Estrategias efectivas para comunicar riesgos a partes interesadas incluyen:

Utilización de lenguaje claro y accesible: La información sobre riesgos debe presentarse de manera clara y sencilla, utilizando un lenguaje que sea comprensible para todas las audiencias, incluidas aquellas sin experiencia técnica en la materia.

Uso de herramientas visuales: Las herramientas visuales, como gráficos, diagramas y mapas, pueden ayudar a ilustrar los riesgos de manera más efectiva y facilitar la comprensión de conceptos complejos.

Adaptación al público objetivo: La comunicación de riesgos debe adaptarse al público objetivo, teniendo en cuenta su nivel de conocimiento, intereses y preocupaciones específicas.

Fomento del diálogo y la participación: Se debe fomentar el diálogo abierto y la participación activa de las partes interesadas en la comunicación de riesgos, permitiendo que expresen sus inquietudes y contribuyan a la toma de decisiones.

La comunicación efectiva de riesgos a partes interesadas en la industria química promueve la transparencia, la confianza y la colaboración entre todas las partes involucradas, lo que contribuye a una gestión de riesgos más efectiva y a la creación de un entorno seguro y sostenible (Gavish et al., 2015; Kumar et al., 2021).

Gestión de Datos y Análisis Predictivo

Utilización de Big Data en la Industria Química: Explotación de grandes volúmenes de datos para identificar patrones y tendencias de riesgo

La utilización de Big Data en la industria química está revolucionando la forma en que las organizaciones gestionan y mitigan riesgos. El Big Data se refiere a conjuntos de datos extremadamente grandes y complejos que pueden ser analizados para revelar patrones, tendencias y asociaciones, especialmente en áreas como la gestión de riesgos. Algunas de las aplicaciones de Big Data en la gestión de riesgos químicos incluyen (Chiang et al., 2017; Mani et al., 2017):

Análisis de tendencias históricas: El análisis de grandes volúmenes de datos históricos permite a las organizaciones identificar patrones y tendencias en incidentes pasados, ayudando a predecir y prevenir eventos similares en el futuro.

Modelado predictivo: Los algoritmos de aprendizaje automático pueden ser utilizados para analizar datos de riesgos pasados y predecir futuros eventos de riesgo con un alto grado de precisión, permitiendo a las organizaciones tomar medidas proactivas para mitigar riesgos potenciales.

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

Monitoreo en tiempo real: La utilización de sensores y dispositivos conectados en las instalaciones químicas genera grandes cantidades de datos en tiempo real, que pueden ser analizados para detectar anomalías y alertar sobre posibles riesgos antes de que ocurran incidentes.

La utilización de Big Data en la industria química proporciona a las organizaciones una visión más completa y precisa de los riesgos presentes en sus operaciones, permitiendo una toma de decisiones más informada y proactiva.

Análisis Predictivo para la Anticipación de Incidentes: Implementación de técnicas analíticas avanzadas para prever y prevenir eventos potenciales

El análisis predictivo es una técnica analítica avanzada que utiliza modelos estadísticos y algoritmos de aprendizaje automático para prever futuros eventos y tendencias en función de datos históricos. En la industria química, el análisis predictivo se utiliza para anticipar y prevenir incidentes potenciales mediante la identificación de patrones y señales de advertencia en los datos. Algunas de las aplicaciones del análisis predictivo en la gestión de riesgos químicos incluyen:

Predicción de fallos de equipos: Los modelos predictivos pueden analizar datos de mantenimiento y rendimiento de equipos para prever posibles fallos y planificar intervenciones preventivas antes de que ocurran incidentes.

Estimación de riesgos operativos: Los algoritmos de análisis predictivo pueden evaluar múltiples variables operativas y ambientales para identificar condiciones de riesgo y predecir la probabilidad de ocurrencia de incidentes, como fugas o derrames.

Optimización de programas de mantenimiento: El análisis predictivo ayuda a las organizaciones a optimizar sus programas de mantenimiento al identificar el momento óptimo para realizar tareas de mantenimiento preventivo y reducir el riesgo de fallos inesperados (Choi et al., 2017; Gunasekaran et al., 2017).

La implementación de técnicas de análisis predictivo en la gestión de riesgos químicos permite a las organizaciones anticipar y prevenir incidentes potenciales, minimizando así el riesgo de daños materiales, lesiones e impactos ambientales.

Integración de Inteligencia Artificial en la Toma de Decisiones: Aplicación de algoritmos y sistemas inteligentes para optimizar la toma de decisiones en tiempo real

La integración de inteligencia artificial (IA) en la gestión de riesgos químicos está transformando la forma en que las organizaciones toman decisiones en tiempo real y responden a situaciones de riesgo. La IA se refiere a sistemas computacionales que pueden realizar tareas que normalmente requieren

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

inteligencia humana, como el razonamiento, el aprendizaje y la toma de decisiones (Hernandez & Zhang, 2017).

Algunas aplicaciones de la IA en la gestión de riesgos químicos incluyen:

Análisis de riesgos automatizado: Los algoritmos de IA pueden analizar grandes volúmenes de datos para identificar patrones y tendencias de riesgo, proporcionando recomendaciones automatizadas sobre acciones a tomar para mitigar riesgos potenciales.

Sistemas de alerta temprana: Los sistemas de IA pueden monitorear continuamente los datos de operación y emitir alertas tempranas sobre posibles situaciones de riesgo, permitiendo una respuesta rápida y efectiva para prevenir incidentes.

Optimización de recursos: Los algoritmos de IA pueden optimizar la asignación de recursos, como personal y equipos de emergencia, para garantizar una respuesta eficiente ante situaciones de riesgo, minimizando el impacto en las operaciones.

La integración de inteligencia artificial en la gestión de riesgos químicos proporciona a las organizaciones herramientas poderosas para mejorar la seguridad, la eficiencia y la sostenibilidad de sus operaciones, permitiendo una toma de decisiones más informada y proactiva en todos los niveles de la organización (Schlegel, 2014).

Desafíos y Consideraciones en la Implementación de la Gestión Digital de Riesgos en la Industria Química

Seguridad Cibernética: Protección de datos y sistemas contra amenazas digitales

La seguridad cibernética es un desafío crucial en la implementación de la gestión digital de riesgos en la industria química. La digitalización de datos y procesos aumenta la exposición a amenazas como ataques informáticos, malware y robo de datos, que pueden comprometer la integridad y la confidencialidad de la información sensible sobre riesgos químicos. Para abordar este desafío, las organizaciones deben implementar medidas de seguridad robustas, como firewalls, encriptación de datos, autenticación multifactor y capacitación del personal en buenas prácticas de seguridad cibernética. Además, es fundamental establecer políticas y procedimientos claros para la gestión de incidentes cibernéticos y la recuperación de datos en caso de un ataque (Dickinson & Wilkinson, 2019; Sadiku et al., 2018).

Calidad y Confianza de los Datos: Garantía de la integridad y precisión de la información

La calidad y confianza de los datos son fundamentales para una gestión de riesgos efectiva en la industria química. La digitalización de datos aumenta la cantidad y la variedad de información

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

disponible, pero también plantea desafíos en términos de garantizar la integridad, precisión y fiabilidad de los datos recopilados. Las organizaciones deben implementar procesos robustos de validación y verificación de datos, así como mecanismos de control de calidad para garantizar la precisión y consistencia de la información. Además, es importante establecer políticas claras de gestión de datos que definan los roles y responsabilidades de los diferentes actores en la recopilación, almacenamiento y uso de datos (Culot et al., 2019).

Privacidad y Protección de Datos: Cumplimiento de regulaciones y estándares de privacidad

La privacidad y protección de datos son consideraciones críticas en la gestión digital de riesgos en la industria química, especialmente dado el carácter sensible de la información sobre productos químicos y procesos industriales. La digitalización de datos aumenta el riesgo de exposición de información confidencial a amenazas internas y externas, lo que puede tener consecuencias graves para la seguridad y reputación de la organización. Para abordar este desafío, las organizaciones deben cumplir con las regulaciones y estándares de privacidad de datos aplicables, como el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) en la Unión Europea y la Ley de Privacidad del Consumidor de California (CCPA) en Estados Unidos. Esto incluye la implementación de medidas de seguridad técnicas y organizativas, como la encriptación de datos, la anonimización de información personal y la notificación de violaciones de seguridad a las autoridades competentes. La implementación exitosa de la gestión digital de riesgos en la industria química requiere abordar estos desafíos y consideraciones de manera integral, garantizando la seguridad, calidad y privacidad de la información, y cumpliendo con las regulaciones y estándares de privacidad de datos aplicables (Volkhova, 2021).

Consideraciones finales

En las conclusiones finales sobre la gestión digital de riesgos en la industria química, es fundamental reconocer cómo la integración de tecnologías avanzadas está revolucionando la capacidad de las organizaciones para entender y manejar los riesgos asociados a sus operaciones. La digitalización de procesos y el uso intensivo de datos, incluyendo técnicas de big data y algoritmos de aprendizaje automático, han demostrado ser herramientas clave para anticipar y mitigar posibles incidentes de manera proactiva. Esta capacidad de predicción no solo mejora la seguridad y eficiencia operativa, sino que también optimiza los recursos y reduce costos a largo plazo. Sin embargo, el despliegue de estas tecnologías conlleva desafíos significativos que deben ser gestionados cuidadosamente. La

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

ciberseguridad emerge como una preocupación principal, ya que la digitalización aumenta la superficie de ataque para amenazas externas e internas. Las empresas deben implementar estrategias robustas de protección de datos, incluyendo encriptación y autenticación multifactor, para proteger la integridad y confidencialidad de la información sensible. La capacitación continua del personal en prácticas de seguridad cibernética y la creación de protocolos de respuesta ante incidentes son medidas esenciales para fortalecer la resiliencia organizacional ante posibles brechas de seguridad. Además, la calidad y confiabilidad de los datos son críticas para asegurar la efectividad de la gestión digital de riesgos. Esto implica establecer rigurosos procesos de validación y verificación de datos que aseguren la precisión y consistencia de la información utilizada en el análisis de riesgos. La gestión eficaz de datos también incluye el cumplimiento de normativas de privacidad y protección de datos, adaptando las prácticas empresariales a regulaciones como el GDPR y la CCPA para evitar sanciones y preservar la confianza de los stakeholders.

Finalmente, la adopción de la gestión digital de riesgos en la industria química debe considerarse una estrategia integral que no solo aborda los desafíos tecnológicos y operativos, sino que también fomenta una cultura de seguridad continua y colaboración. Las empresas deben estar preparadas para evolucionar y adaptar sus enfoques a medida que las tecnologías y los marcos regulatorios cambian, garantizando así la protección continua de sus recursos, personal y el medio ambiente. Esta adaptabilidad será crucial para sustentar la competitividad y la sostenibilidad en un mercado cada vez más regulado y tecnológicamente avanzado.

Referencias

- Biniecka, M., Campana, P., & Iannilli, I. (2005). The technological and economic management of the environmental variable in the pharmaceutical–chemical industry. *Microchemical Journal*, 79, 325–329. <https://doi.org/10.1016/J.MICROC.2004.10.002>
- Boykin, R., & Levary, R. (1989). Risk analysis using simulation for a chemical storage problem. *Journal of Loss Prevention in The Process Industries*, 2, 108–113. [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(89\)80007-5](https://doi.org/10.1016/0950-4230(89)80007-5)
- Chacko, R., Gossler, H., Riedel, J., Schunk, S., & Deutschmann, O. (2023). Digitalization in Catalysis and Reaction Engineering: Automatizing Work Flows. *Proceedings of the Conference on Research Data Infrastructure*. <https://doi.org/10.52825/cordi.v1i.412>

- Chiang, L. H., Lu, B., & Castillo, I. (2017). Big Data Analytics in Chemical Engineering. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 8, 63–85. <https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-060816-101555>
- Choi, T., Chan, H., & Yue, X. (2017). Recent Development in Big Data Analytics for Business Operations and Risk Management. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 47, 81–92. <https://doi.org/10.1109/TCYB.2015.2507599>
- Ciborra, C. (2006). *Imbrication of Representations: Risk and Digital Technologies. *Continental Philosophy EJournal*. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2006.00647.x>
- Culot, G., Fattori, F., Podrecca, M., & Sartor, M. (2019). Addressing Industry 4.0 Cybersecurity Challenges. *IEEE Engineering Management Review*, 47, 79–86. <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2927559>
- Dellarco, V., Henry, T., Sayre, P., Seed, J., & Bradbury, S. (2010). Meeting The Common Needs of a More Effective and Efficient Testing and Assessment Paradigm for Chemical Risk Management. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 13, 347–360. <https://doi.org/10.1080/10937404.2010.483950>
- Dickinson, B., & Wilkinson, D. (2019). Securing industrial systems in a digital world. *The APPEA Journal*. <https://doi.org/10.1071/AJ18264>
- Fracaro, S. G., Chan, P., Gallagher, T., Tehreem, Y., Toyoda, R., Bernaerts, K., Glassey, J., Pfeiffer, T., Slof, B., Wachsmuth, S., & Wilk, M. (2021). Towards design guidelines for virtual reality training for the chemical industry. *Education for Chemical Engineers*. <https://doi.org/10.1016/J.ECE.2021.01.014>
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23, 778–798. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>
- Grutters, M., Shetty, S., Brown, W., Dunn, R., & Coadey, B. (2019). Automation in Upstream Production Chemicals: Learning from Downstream. Day 4 Thu, March 21, 2019. <https://doi.org/10.2118/195112-MS>
- Gunasekaran, A., Papadopoulos, T., Dubey, R., Wamba, S., Childe, S., Hazen, B. T., & Akter, S. (2017). Big data and predictive analytics for supply chain and organizational performance. *Journal of Business Research*, 70, 308–317. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2016.08.004>
-

- Hernandez, I., & Zhang, Y. (2017). Using predictive analytics and big data to optimize pharmaceutical outcomes. *American Journal of Health-System Pharmacy : AJHP : Official Journal of the American Society of Health-System Pharmacists*, 74 18, 1494–1500. <https://doi.org/10.2146/ajhp161011>
- I, Y.-P., & Cheng, T.-L. (2008). The development of a 3D risk analysis method. *Journal of Hazardous Materials*, 153 1-2, 600–608. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2007.09.003>
- Khan, F., Amyotte, P., & Adedigba, S. (2021). Process safety concerns in process system digitalization. *Education for Chemical Engineers*, 34, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2020.11.002>
- Kumar, V., Carberry, D., Beenfeldt, C., Andersson, M., Mansouri, S., & Gallucci, F. (2021). Virtual reality in chemical and biochemical engineering education and training. *Education for Chemical Engineers*. <https://doi.org/10.1016/J.ECE.2021.05.002>
- Li, X., Yi, W., Chi, H., Wang, X., & Chan, A. P. C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86, 150–162. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2017.11.003>
- Manca, D., Brambilla, S., & Colombo, S. (2013). Bridging between Virtual Reality and accident simulation for training of process-industry operators. *Adv. Eng. Softw.*, 55, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2012.09.002>
- Mani, V., Delgado, C. J. M., Hazen, B. T., & Patel, P. (2017). Mitigating Supply Chain Risk via Sustainability Using Big Data Analytics: Evidence from the Manufacturing Supply Chain. *Sustainability*, 9, 608. <https://doi.org/10.3390/SU9040608>
- Moore, D., Ruffle, B., McQueen, A., Thakali, S., & Edwards, D. (2022). Frameworks for screening and risk management of chemicals and advanced materials: A critical review. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 19. <https://doi.org/10.1002/ieam.4590>
- Sadiku, M., Musa, S., & Musa, O. (2018). Cybersecurity for Chemical Industry. *PSN: Security & Safety (Topic)*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3267292>
- Saquicela, J. L. S.-., Heredia, J. R. B.-., Heredia, M. A. M.-., Salinas, L. D. R. de L. A., Fernández, R. E. C., Parra, M. Ángel V., Burgos, J. G. C., Acurio, J. A. G., Mina, M. G. G. C., & Quiñónez, B. F. C. (2022). Diseño de un sistema de monitorización de la calidad de aire, basado en una red sensorial y técnicas de IOT para la ciudad de Esmeraldas / Projeto de um sistema de monitoramento da qualidade do ar baseado em uma rede de sensores e técnicas

- IOT para a cidade de Esmeraldas. *Brazilian Applied Science Review*, 6(2), 692–730.
<https://doi.org/10.34115/basrv6n2-020>
- Schlegel, G. (2014). Utilizing Big Data and Predictive Analytics to Manage Supply Chain Risk. *Journal of Business Forecasting*, 33, 11.
- Shah, V. S. (2017). Emerging Paradigms of Managing Digital Business: In Association with Factoring Incremental Risks. *Journal of Advanced Management Science*, 5, 1–8.
<https://doi.org/10.18178/JOAMS.5.1.1-8>
- Singh, A. V., Bansod, G., Mahajan, M., Dietrich, P., Singh, S. P., Rav, K., Thissen, A., Bharde, A. M., Rothenstein, D., Kulkarni, S., & Bill, J. (2023). Digital Transformation in Toxicology: Improving Communication and Efficiency in Risk Assessment. *ACS Omega*, 8, 21377–21390. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c00596>
- Tixier, A. (2013). Teaching construction hazard recognition through high fidelity augmented reality. <https://doi.org/10.18260/1-2-22524>
- Volokhova, L. (2021). PRIORITIES AND CHALLENGES OF INTRODUCTION OF DIGITAL INNOVATIONS IN THE FIELD OF FINANCIAL SERVICES. <https://doi.org/10.32782/2415-8801/2021-1.14>
- Wilbraham, L., Mehr, S. H. M., & Cronin, L. (2020). Digitizing Chemistry Using the Chemical Processing Unit: From Synthesis to Discovery. *Accounts of Chemical Research*. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.0c00674>
- Wolf, E. M. (2013). Stochastic simulation of optimal insurance policies to manage supply chain risk. 2013 Winter Simulations Conference (WSC), 1793–1804.
<https://doi.org/10.1109/WSC.2013.6721560>
- Ying, Y. (2023). Research on Risk Calculation in Chemical Production Processes Based on Dynamic Bayesian Networks. 2023 IEEE 14th International Conference on Software Engineering and Service Science (ICSESS), 33–37. <https://doi.org/10.1109/ICSESS58500.2023.10293090>
- You, F., Wassick, J., & Grossmann, I. (2009). Risk Management for a Global Supply Chain Planning Under Uncertainty: Models and Algorithms. *Aiche Journal*, 55, 931–946.
<https://doi.org/10.1002/AIC.11721>
- Zaikovsky, V., & Karev, A. (2021). An automated risk management system as a step towards digitalization of decision making. 18, 52–59. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2021-18-2-52-59>
-

La gestión digital para administrar los riesgos en la industria química

Zoidze, D., & Gubarev, O. (2021). Evolution of Approaches to Risk Management in Organizations. *Business Inform*, 4, 276–285. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2021-4-276-285>

©2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).