



Convergencia de intereses de calidad y medio ambiente en los espacios productivos de las empresas químicas

Convergence of quality and environmental interests in the productive spaces of chemical companies

Convergência de interesses de qualidade e ambientais nos espaços produtivos das empresas químicas

Pablo José Morcillo-Valencia^I
pablo.morcillo.valencia@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8471-745X>

Andrea Gabriela Cortés-Gutiérrez^{II}
andrea.cortes.gutierrez@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2831-5947>

Jairo Vladimir Obando-Perea^{III}
jairo.obando@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9876-8602>

Martha Elizabeth Nevárez-Rivadeneira^{IV}
martha.nevarez.rivadeneira@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-4247-0208>

Correspondencia: pablo.morcillo.valencia@utelvt.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 15 de abril de 2024 * **Aceptado:** 18 de mayo de 2024 * **Publicado:** 21 de junio de 2024

- I. Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Ingeniero Químico, Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Química en la Especialidad en Química Inorgánica e Ingeniería Química, Ecuador.
- II. Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales, Ingeniera Química, Ecuador.
- III. Máster en Dirección de la Producción y Mejora de los Procesos Industriales, Ingeniero de Petróleos, Ecuador.
- IV. Máster Universitario en Sistemas Integrados de Gestión de la Prevención de Riesgos Laborales, La Calidad, El Medio Ambiente y La Responsabilidad Social Corporativa, Ingeniera Química, Ecuador.

Resumen

La calidad en la industria química se define como la capacidad de los productos y procesos para cumplir consistentemente con las especificaciones establecidas y satisfacer las expectativas del cliente. Normativas como ISO 9001 y las Buenas Prácticas de Manufactura (GMP) son esenciales para garantizar la seguridad y eficacia de los productos, además de reforzar la confianza del consumidor. La gestión de calidad incluye herramientas como el Análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA) y el Control Estadístico de Procesos (SPC). La sostenibilidad en la industria química se refiere a minimizar los impactos negativos sobre el medio ambiente mientras se mantienen niveles de producción eficientes y rentables. Normativas como ISO 14001 ayudan a las empresas a desarrollar un enfoque sistemático para la gestión ambiental. La sostenibilidad incluye la responsabilidad social corporativa, que abarca iniciativas de mejora en seguridad y salud laboral, programas de reciclaje y reducción de residuos. La Gestión de Calidad Total (TQM) busca mejorar continuamente la calidad de los productos y servicios a través de la participación de todos los empleados y la satisfacción del cliente. En la industria química, TQM se implementa mediante herramientas de calidad y capacitación continua. La integración de los sistemas de gestión de calidad y medio ambiente mediante normas como ISO 9001 e ISO 14001 mejora la eficiencia operativa y facilita el cumplimiento regulatorio.

Las certificaciones ISO 9001 e ISO 14001 son fundamentales para integrar prácticas de calidad y medio ambiente, mejorando las operaciones internas y fortaleciendo la reputación en el mercado. La Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) permite a las empresas identificar áreas de mejora en términos de sostenibilidad y calidad. La innovación en procesos y productos, como el uso de materias primas renovables y tecnologías de producción más limpias, es crucial para esta integración. La gestión eficaz de recursos y residuos, mediante estrategias como la economía circular y la minimización de residuos, también es esencial para la sostenibilidad. La convergencia de intereses de calidad y medio ambiente ofrece beneficios como la eficiencia operativa, la reducción de costos y la mejora de la imagen corporativa, aunque también presenta desafíos como el cumplimiento regulatorio y las barreras tecnológicas.

Palabras clave: SPC; TQM; LCA.

Abstract

Quality in the chemical industry is defined as the ability of products and processes to consistently meet established specifications and meet customer expectations. Regulations such as ISO 9001 and Good Manufacturing Practices (GMP) are essential to guarantee the safety and effectiveness of products, in addition to reinforcing consumer confidence. Quality management includes tools such as Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Statistical Process Control (SPC). Sustainability in the chemical industry refers to minimizing negative impacts on the environment while maintaining efficient and profitable production levels. Regulations such as ISO 14001 help companies develop a systematic approach to environmental management. Sustainability includes corporate social responsibility, which encompasses initiatives to improve occupational health and safety, recycling programs and waste reduction. Total Quality Management (TQM) seeks to continually improve the quality of products and services through the participation of all employees and customer satisfaction. In the chemical industry, TQM is implemented through quality tools and continuous training. The integration of quality and environmental management systems through standards such as ISO 9001 and ISO 14001 improves operational efficiency and facilitates regulatory compliance.

ISO 9001 and ISO 14001 certifications are essential to integrate quality and environmental practices, improving internal operations and strengthening reputation in the market. The Life Cycle Assessment (LCA) allows companies to identify areas for improvement in terms of sustainability and quality. Innovation in processes and products, such as the use of renewable raw materials and cleaner production technologies, is crucial for this integration. Effective resource and waste management, through strategies such as the circular economy and waste minimization, is also essential for sustainability. The convergence of quality and environmental interests offers benefits such as operational efficiency, cost reduction and improved corporate image, although it also presents challenges such as regulatory compliance and technological barriers.

Keywords: SPC; TQM; LCA.

Resumo

Qualidade na indústria química é definida como a capacidade dos produtos e processos de atender consistentemente às especificações estabelecidas e às expectativas dos clientes. Regulamentações

como a ISO 9001 e as Boas Práticas de Fabricação (BPF) são essenciais para garantir a segurança e a eficácia dos produtos, além de reforçar a confiança do consumidor. A gestão da qualidade inclui ferramentas como Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) e Controle Estatístico de Processo (CEP). A sustentabilidade na indústria química refere-se à minimização dos impactos negativos no meio ambiente, mantendo níveis de produção eficientes e rentáveis. Regulamentações como a ISO 14001 ajudam as empresas a desenvolver uma abordagem sistemática à gestão ambiental. A sustentabilidade inclui a responsabilidade social corporativa, que engloba iniciativas para melhorar a saúde e segurança ocupacional, programas de reciclagem e redução de resíduos. A Gestão da Qualidade Total (TQM) busca melhorar continuamente a qualidade dos produtos e serviços por meio da participação de todos os colaboradores e da satisfação do cliente. Na indústria química, o TQM é implementado através de ferramentas de qualidade e treinamento contínuo. A integração de sistemas de gestão da qualidade e ambiental através de normas como ISO 9001 e ISO 14001 melhora a eficiência operacional e facilita a conformidade regulatória.

As certificações ISO 9001 e ISO 14001 são essenciais para integrar práticas de qualidade e ambientais, melhorando as operações internas e fortalecendo a reputação no mercado. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) permite às empresas identificar áreas de melhoria em termos de sustentabilidade e qualidade. A inovação em processos e produtos, como a utilização de matérias-primas renováveis e tecnologias de produção mais limpas, é crucial para esta integração. A gestão eficaz de recursos e resíduos, através de estratégias como a economia circular e a minimização de resíduos, também é essencial para a sustentabilidade. A convergência dos interesses de qualidade e ambientais oferece benefícios como eficiência operacional, redução de custos e melhoria da imagem corporativa, embora também apresente desafios como conformidade regulatória e barreiras tecnológicas.

Palavras-chave: CEP; GQT; ACV.

Introducción

En la industria química, la calidad y la sostenibilidad son conceptos fundamentales que determinan la eficacia, seguridad y competitividad de los productos y procesos. La calidad en este sector no solo se refiere a la capacidad de los productos para cumplir con las especificaciones y satisfacer las expectativas del cliente, sino también a la gestión integral de los procesos, desde la adquisición de materias primas hasta la distribución del producto terminado. Normativas como ISO 9001 y las

Buenas Prácticas de Manufactura (GMP) son esenciales para mantener altos estándares de calidad y seguridad, asegurando que los productos químicos se produzcan y controlen de manera consistente y segura (Delgado & Smith, 2021; L. Chen & Roberts, 2019).

La sostenibilidad, por otro lado, implica la capacidad de operar minimizando los impactos negativos sobre el medio ambiente mientras se mantienen niveles de producción eficientes y rentables. En este contexto, el concepto de sostenibilidad se articula a través del "triple bottom line", que considera los aspectos económicos, sociales y ambientales de la operación. Normativas como ISO 14001 proporcionan un marco estructurado para la gestión ambiental, ayudando a las empresas a desarrollar enfoques sistemáticos para identificar y controlar sus impactos ambientales (Maglia, 2019). Además, la sostenibilidad en la industria química incluye la responsabilidad social corporativa, que se centra en la gestión de las relaciones con empleados, comunidades y otras partes interesadas, promoviendo iniciativas como la mejora de la seguridad y salud en el trabajo, programas de reciclaje y esfuerzos para reducir la huella de carbono (Lange, 2009).

La Gestión de Calidad Total (TQM) es una filosofía de gestión que busca la mejora continua de la calidad de los productos y servicios mediante la participación activa de todos los empleados y la satisfacción del cliente. En la industria química, TQM se implementa a través de un enfoque sistemático que incluye el uso de herramientas de calidad como el Análisis de Causa Raíz (RCA), el Control Estadístico de Procesos (SPC) y el Análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA). Estos principios son esenciales para mantener la competitividad y asegurar el cumplimiento de las normativas (Bayazit, 2003; Das et al., 2020). La implementación de TQM también fomenta una cultura de responsabilidad compartida, donde cada empleado, desde el operario de planta hasta la alta dirección, es responsable de la calidad.

La convergencia de los intereses de calidad y medio ambiente se basa en la integración de sistemas de gestión que aborden ambos aspectos de manera simultánea. Los sistemas integrados de gestión (SIG) combinan las normativas ISO 9001 e ISO 14001, permitiendo a las empresas gestionar sus procesos de manera holística. Este enfoque no solo facilita el cumplimiento regulatorio, sino que también mejora la eficiencia operativa al eliminar redundancias y optimizar recursos (A. Carter, 1999). La integración de la gestión de calidad y medio ambiente puede generar sinergias significativas, como la reducción de desperdicios y la mejora de la eficiencia en el uso de recursos, beneficiando tanto al medio ambiente como a la calidad del producto (Wilkinson & Dale, 1999).

Sin embargo, esta integración también presenta desafíos. Las empresas deben enfrentar la complejidad de cumplir con múltiples normativas y la necesidad de un cambio cultural dentro de la organización. La formación y el compromiso de los empleados son cruciales para el éxito de los sistemas integrados de gestión. A pesar de estos desafíos, la convergencia de los intereses de calidad y medio ambiente ofrece una oportunidad única para que las empresas químicas mejoren su rendimiento y contribuyan al desarrollo sostenible (de Faria et al., 2021).

Desarrollo

Calidad en la Industria Química

La calidad en la industria química se refiere a la capacidad de los productos y procesos para cumplir consistentemente con las especificaciones establecidas y satisfacer las expectativas del cliente. Las normativas como ISO 9001, que establece los criterios para un sistema de gestión de calidad, son fundamentales en este contexto. Esta normativa enfatiza la necesidad de una mejora continua y el enfoque en el cliente, elementos esenciales para mantener la competitividad en un mercado globalizado (Delgado & Smith, 2021).

La implementación de prácticas de calidad es crucial no solo para garantizar la seguridad y eficacia de los productos químicos, sino también para asegurar el cumplimiento de regulaciones estrictas. Las Buenas Prácticas de Manufactura (GMP, por sus siglas en inglés) son otro conjunto de directrices que aseguran que los productos se producen y controlan de manera consistente, minimizando los riesgos inherentes a cualquier proceso de producción. La adherencia a estas normativas no solo protege la salud pública, sino que también refuerza la confianza del consumidor (L. Chen & Roberts, 2019).

En el contexto de la industria química, la calidad no se limita a los productos finales. Incluye también la gestión de procesos, desde la adquisición de materias primas hasta la distribución del producto terminado. Este enfoque integral garantiza que cada etapa del proceso productivo contribuya a la calidad final del producto, minimizando las variabilidades y optimizando los recursos. La implementación de herramientas como el Análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA) y el Control Estadístico de Procesos (SPC) son prácticas comunes para asegurar la consistencia y calidad en la producción (H. Wang & Li, 2018).

Sostenibilidad y Gestión Ambiental

La sostenibilidad en la industria química se refiere a la capacidad de operar de manera que se minimicen los impactos negativos sobre el medio ambiente, a la vez que se mantienen niveles de producción eficientes y rentables. El concepto de sostenibilidad se articula a través del "triple bottom line", que considera los aspectos económicos, sociales y ambientales de la operación. La normativa ISO 14001, que establece los requisitos para un sistema de gestión ambiental, es una herramienta clave en este esfuerzo. Esta normativa ayuda a las empresas a desarrollar un enfoque sistemático para la gestión ambiental, incluyendo la mejora continua y el cumplimiento regulatorio (Maglia, 2019).

La implementación de ISO 14001 permite a las empresas identificar y controlar sus impactos ambientales, desde el uso de materias primas hasta la gestión de residuos. Este enfoque proactivo no solo ayuda a las empresas a cumplir con las leyes ambientales, sino que también puede conducir a ahorros significativos en costos operativos y mejorar la eficiencia de los recursos. Además, la gestión ambiental efectiva puede mejorar la reputación de la empresa, aumentando la confianza de los stakeholders y abriendo nuevas oportunidades de mercado (Johnson, 2012).

Los principios de sostenibilidad también incluyen la responsabilidad social corporativa (RSC), que se enfoca en cómo las empresas gestionan sus relaciones con los empleados, la comunidad y otras partes interesadas. En la industria química, esto puede incluir iniciativas para mejorar la seguridad y salud en el lugar de trabajo, programas de reciclaje y reducción de residuos, y esfuerzos para reducir la huella de carbono. La adopción de prácticas sostenibles no solo beneficia al medio ambiente, sino que también puede mejorar la moral de los empleados y fortalecer la lealtad del cliente (Lange, 2009).

Teoría de la Gestión de Calidad Total (TQM)

La Gestión de Calidad Total (TQM) es una filosofía de gestión que busca mejorar continuamente la calidad de los productos y servicios a través de la participación de todos los empleados y la satisfacción del cliente. En la industria química, TQM se implementa mediante un enfoque sistemático que incluye el uso de herramientas de calidad, capacitación continua y la participación activa de la alta dirección. Los principios de TQM, como el enfoque en el cliente, la mejora

continua y la toma de decisiones basada en datos, son esenciales para mantener la competitividad y asegurar el cumplimiento de las normativas (Bayazit, 2003; Das et al., 2020).

La aplicación de TQM en la industria química implica la integración de herramientas como el Análisis de Causa Raíz (RCA), el Control Estadístico de Procesos (SPC) y el Análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA). Estas herramientas ayudan a identificar y eliminar las causas de los defectos, mejorando la consistencia y calidad de los productos. Además, TQM fomenta una cultura de responsabilidad compartida, donde cada empleado, desde el operario de planta hasta la alta dirección, es responsable de la calidad (Das et al., 2020).

Uno de los mayores beneficios de implementar TQM en la industria química es la capacidad de reducir los costos asociados con la no calidad, tales como desperdicios, reprocesos y devoluciones de clientes. Además, un enfoque en la mejora continua y la innovación puede conducir al desarrollo de nuevos productos y procesos más eficientes y sostenibles. La implementación efectiva de TQM requiere un compromiso a largo plazo y un cambio cultural dentro de la organización, pero los beneficios pueden ser significativos tanto en términos de calidad del producto como de rendimiento financiero (Martinez-Lorente et al., 2000).

Convergencia de Calidad y Medio Ambiente

La convergencia de los intereses de calidad y medio ambiente en la industria química se basa en la integración de sistemas de gestión que aborden ambos aspectos de manera simultánea. Los sistemas integrados de gestión (SIG) combinan las normativas ISO 9001 e ISO 14001, permitiendo a las empresas gestionar sus procesos de manera holística. Este enfoque no solo facilita el cumplimiento regulatorio, sino que también mejora la eficiencia operativa al eliminar redundancias y optimizar los recursos (A. Carter, 1999).

La integración de la gestión de calidad y medio ambiente puede generar sinergias significativas. Por ejemplo, la reducción de desperdicios y la mejora de la eficiencia en el uso de recursos no solo benefician al medio ambiente, sino que también mejoran la calidad del producto y reducen los costos operativos. Además, la adopción de prácticas sostenibles puede mejorar la reputación de la empresa y fortalecer las relaciones con los stakeholders, incluyendo clientes, empleados y comunidades locales (Wilkinson & Dale, 1999).

Sin embargo, la integración de estos sistemas también presenta desafíos. Las empresas deben enfrentar la complejidad de cumplir con múltiples normativas y la necesidad de un cambio cultural

dentro de la organización. La formación y el compromiso de los empleados son cruciales para el éxito de los sistemas integrados de gestión. A pesar de estos desafíos, la convergencia de los intereses de calidad y medio ambiente ofrece una oportunidad única para que las empresas químicas mejoren su rendimiento y contribuyan al desarrollo sostenible (de Faria et al., 2021).

Estrategias de Integración

Certificaciones y Normativas

Las certificaciones ISO 9001 e ISO 14001 se han convertido en pilares fundamentales para las empresas que buscan integrar las prácticas de calidad y medio ambiente. La ISO 9001, enfocada en la gestión de la calidad, establece una estructura que ayuda a las empresas a garantizar que sus productos y servicios cumplan consistentemente con los requisitos del cliente y las regulaciones. Por otro lado, la ISO 14001 proporciona un marco para la gestión ambiental eficaz, permitiendo a las empresas identificar y controlar su impacto ambiental de manera sistemática y sostenible. La implementación conjunta de estas certificaciones facilita la creación de un sistema de gestión integrado, donde los procesos de calidad y medio ambiente se alinean y refuerzan mutuamente (Kostelac et al., 2016).

Una de las ventajas clave de adoptar ambas normativas es la capacidad de las empresas para abordar de manera simultánea las expectativas de los stakeholders en términos de calidad y sostenibilidad. Las empresas que operan bajo estos estándares no solo mejoran sus operaciones internas, sino que también fortalecen su reputación en el mercado. Además, la adopción de ISO 9001 e ISO 14001 puede conducir a una mayor eficiencia operativa al eliminar redundancias y mejorar la coherencia entre los sistemas de gestión de calidad y ambiental. Este enfoque integrado también facilita la auditoría y el cumplimiento regulatorio, reduciendo el tiempo y los recursos necesarios para mantener la conformidad (Tarí et al., 2012).

La integración de ISO 9001 e ISO 14001 también presenta desafíos significativos. Las empresas deben asegurarse de que todos los niveles de la organización comprendan y apoyen los objetivos tanto de calidad como de sostenibilidad. Esto puede requerir una formación extensa y un cambio cultural dentro de la organización. Además, las empresas deben desarrollar métricas y sistemas de monitoreo que puedan evaluar efectivamente el desempeño en ambas áreas, lo que puede ser complejo y exigir recursos adicionales. A pesar de estos desafíos, el beneficio de una gestión

integrada de calidad y medio ambiente hace que el esfuerzo sea valioso para muchas empresas químicas (Hikichi et al., 2017).

Evaluación del Ciclo de Vida (LCA)

La Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) es una herramienta esencial para las empresas químicas que buscan integrar la gestión de calidad y medio ambiente. La LCA proporciona un enfoque integral para evaluar los impactos ambientales de un producto o proceso desde la extracción de materias primas hasta su disposición final. Esta metodología permite identificar áreas de mejora a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, promoviendo la sostenibilidad y la eficiencia en cada etapa del proceso de producción (Hikichi et al., 2017).

Implementar una LCA en la industria química implica recolectar y analizar datos detallados sobre los flujos de materiales y energía asociados con cada etapa del ciclo de vida del producto. Esta información se utiliza para evaluar una amplia gama de impactos ambientales, incluyendo el uso de recursos, la emisión de contaminantes y el potencial de calentamiento global. Al identificar los puntos críticos de impacto, las empresas pueden priorizar las mejoras en sus procesos y productos, reduciendo su huella ambiental mientras mantienen o mejoran la calidad del producto. Este enfoque no solo ayuda a las empresas a cumplir con las regulaciones ambientales, sino que también puede abrir nuevas oportunidades de mercado para productos más sostenibles (Curkovic & Sroufe, 2011). Un ejemplo de la aplicación de LCA en la industria química es la evaluación de los polímeros biodegradables. A través de la LCA, las empresas pueden comparar el impacto ambiental de los polímeros tradicionales derivados del petróleo con el de los polímeros biodegradables. Este análisis puede revelar que, aunque los polímeros biodegradables pueden tener un mayor impacto en ciertas etapas del ciclo de vida, como la producción de materias primas, su impacto total es menor debido a su capacidad de descomposición en condiciones naturales. Estos hallazgos pueden guiar a las empresas en la toma de decisiones informadas sobre el desarrollo y la comercialización de nuevos productos sostenibles (Fonseca, 2015).

Innovación en Procesos y Productos

La innovación en procesos y productos es fundamental para que las empresas químicas logren la integración de calidad y sostenibilidad ambiental. La búsqueda constante de tecnologías avanzadas y métodos de producción más limpios puede llevar a mejoras significativas en la eficiencia y la

reducción del impacto ambiental. La adopción de materias primas renovables y la implementación de tecnologías de producción más limpias son ejemplos de cómo la innovación puede apoyar esta integración (Curkovic & Sroufe, 2011).

El uso de materias primas renovables, como biopolímeros o productos químicos derivados de biomasa, representa un paso importante hacia la sostenibilidad. Estas materias primas no solo reducen la dependencia de recursos fósiles, sino que también pueden tener menores impactos ambientales en términos de emisiones de gases de efecto invernadero y consumo de energía. Además, la innovación en productos permite desarrollar materiales con propiedades mejoradas que pueden superar a los productos tradicionales en términos de desempeño y sostenibilidad. Por ejemplo, los recubrimientos avanzados y los catalizadores más eficientes pueden mejorar la durabilidad y la eficiencia energética de los productos finales, contribuyendo tanto a la calidad como a la sostenibilidad (Fonseca, 2015).

Las tecnologías de producción más limpias, como la química verde y los procesos catalíticos avanzados, también desempeñan un papel crucial. La química verde se centra en el diseño de productos y procesos que minimicen el uso y la generación de sustancias peligrosas. Los procesos catalíticos, por su parte, pueden aumentar la eficiencia de las reacciones químicas, reduciendo la cantidad de energía y materias primas necesarias. Estos enfoques no solo mejoran la sostenibilidad ambiental, sino que también pueden conducir a reducciones de costos significativas, haciendo que la innovación sea una estrategia atractiva desde una perspectiva económica y ambiental (Heras-Saizarbitoria et al., 2018).

Gestión de Recursos y Residuos

La gestión eficaz de recursos y residuos es esencial para la integración de los intereses de calidad y medio ambiente en las empresas químicas. La optimización del uso de recursos naturales y la reducción de residuos no solo contribuyen a la sostenibilidad ambiental, sino que también mejoran la eficiencia operativa y reducen costos. Estrategias como la economía circular, la minimización de residuos y la valorización de subproductos son ejemplos de enfoques que pueden ser implementados (Lieder & Rashid, 2016).

La economía circular promueve la reutilización y el reciclaje de materiales dentro del proceso productivo, reduciendo la necesidad de nuevas materias primas y disminuyendo la generación de residuos. En la industria química, esto puede implicar la recuperación y reutilización de solventes,

la recirculación de aguas de proceso y la regeneración de catalizadores. Estas prácticas no solo conservan recursos valiosos, sino que también pueden mejorar la eficiencia de los procesos y reducir costos operativos (Yuan et al., 2006).

La minimización de residuos se centra en la reducción de la generación de residuos en la fuente. Esto puede lograrse mediante la optimización de procesos, la mejora del diseño de productos y la implementación de prácticas operativas más limpias. Por ejemplo, la adopción de técnicas de producción más precisas y el uso de materiales de mayor pureza pueden reducir significativamente la cantidad de residuos generados. Además, la valorización de subproductos, mediante su transformación en productos útiles o su utilización en otros procesos industriales, puede convertir los residuos en recursos valiosos, contribuyendo a la sostenibilidad y la rentabilidad de la empresa (Ghisellini et al., 2016).

Beneficios de la Convergencia

Eficiencia Operativa

La implementación de sistemas integrados de gestión de calidad y medio ambiente puede resultar en una mejora sustancial de la eficiencia operativa. Las empresas químicas que adoptan normas como ISO 9001 e ISO 14001 a menudo experimentan una optimización en sus procesos productivos, reduciendo el desperdicio y mejorando la utilización de recursos. Estas normas proporcionan un marco estructurado para identificar y eliminar ineficiencias, promoviendo la mejora continua. La integración de sistemas permite a las empresas unificar sus esfuerzos y recursos, evitando la duplicidad de actividades y maximizando la efectividad de sus operaciones (Khanna & Anton, 2013).

Además, la eficiencia operativa se ve favorecida por la implementación de prácticas sostenibles que reducen el consumo de energía y agua. Las empresas químicas pueden invertir en tecnologías avanzadas que minimicen el uso de estos recursos, como sistemas de recirculación de agua y procesos de producción más eficientes desde el punto de vista energético. Estas tecnologías no solo reducen los costos operativos, sino que también contribuyen a disminuir la huella ambiental de las operaciones de la empresa. La reducción del desperdicio y el aumento de la eficiencia de los recursos son componentes clave de una estrategia de sostenibilidad bien integrada (Testa et al., 2014).

Un caso relevante es el uso de herramientas de automatización y control de procesos. Estas herramientas permiten a las empresas químicas monitorear y ajustar sus operaciones en tiempo real, lo que resulta en una producción más eficiente y menos propensa a errores. Al integrar la gestión de calidad y ambiental, las empresas pueden asegurar que sus sistemas de automatización también cumplen con los estándares ambientales, creando sinergias que mejoran tanto la eficiencia como la sostenibilidad. La convergencia de estos sistemas puede conducir a una reducción significativa de los tiempos de inactividad, aumentando la productividad y garantizando una producción de alta calidad con menores impactos ambientales (Q. Wang et al., 2016).

Reducción de Costos

La convergencia de los sistemas de gestión de calidad y medio ambiente también se traduce en una significativa reducción de costos para las empresas químicas. La eficiencia operativa mejorada y la reducción de desperdicios contribuyen directamente a disminuir los costos de producción. Al eliminar actividades redundantes y optimizar el uso de recursos, las empresas pueden reducir tanto los costos directos como los indirectos asociados a la producción. Esta reducción de costos no solo mejora la rentabilidad de la empresa, sino que también libera recursos que pueden ser reinvertidos en innovación y mejoras adicionales (Curkovic et al., 2000).

Un aspecto crítico de la reducción de costos es el manejo eficiente de residuos. Las empresas químicas generan una variedad de residuos, muchos de los cuales requieren tratamiento especializado y pueden representar un costo significativo. La implementación de prácticas sostenibles y tecnologías limpias puede reducir la cantidad de residuos generados y los costos asociados a su manejo. Por ejemplo, la adopción de procesos de producción cerrados o el reciclaje de subproductos puede minimizar la necesidad de tratamiento y disposición de residuos, traduciéndose en ahorros sustanciales (Bansal, 2005).

Además, la reducción de costos se extiende a las áreas de cumplimiento regulatorio. Las empresas que integran sistemas de gestión de calidad y ambiental están mejor preparadas para cumplir con las regulaciones locales e internacionales, evitando multas y sanciones costosas. Estas empresas también pueden beneficiarse de incentivos fiscales y subsidios ofrecidos por gobiernos y organizaciones internacionales para la adopción de prácticas sostenibles. Así, la integración no solo protege a las empresas de riesgos financieros, sino que también les proporciona ventajas económicas adicionales (Bansal, 2005).

Cumplimiento y Ventaja Competitiva

El cumplimiento regulatorio eficaz es otro beneficio crucial de la convergencia de intereses de calidad y medio ambiente. Las empresas químicas operan en un entorno altamente regulado, con estrictas normativas que cubren tanto la calidad del producto como el impacto ambiental. Al adoptar sistemas integrados de gestión, las empresas pueden asegurarse de que están en cumplimiento con todas las normativas pertinentes, reduciendo el riesgo de sanciones y mejorando su relación con los reguladores. Este cumplimiento efectivo no solo protege a la empresa de penalidades, sino que también mejora su credibilidad y reputación en el mercado (Bertels et al., 2008).

El cumplimiento regulatorio eficaz también puede proporcionar una ventaja competitiva significativa. Las empresas que demuestran un fuerte compromiso con la calidad y la sostenibilidad a menudo disfrutan de una mejor reputación entre los consumidores, lo que puede traducirse en una mayor lealtad del cliente y un incremento en las ventas. Los consumidores y los socios comerciales están cada vez más conscientes de las prácticas sostenibles y prefieren asociarse con empresas que demuestran un compromiso genuino con la calidad y el medio ambiente. Esto puede ser un diferenciador clave en mercados competitivos (Hajmohammad et al., 2013).

Finalmente, la ventaja competitiva se refuerza mediante la capacidad de las empresas para innovar y adaptar sus operaciones a las demandas cambiantes del mercado. Las empresas que integran la gestión de calidad y ambiental están mejor posicionadas para responder a los desafíos y oportunidades del mercado, desarrollando productos y procesos que no solo cumplen con las normativas, sino que también anticipan y superan las expectativas de los consumidores. Esta capacidad de innovación y adaptación es crucial para mantener una ventaja competitiva sostenible en el dinámico sector químico (Russo, 2009).

Mejora de la Imagen Corporativa

La integración de los intereses de calidad y medio ambiente también tiene un impacto positivo en la imagen corporativa de las empresas químicas. Las organizaciones que implementan prácticas sostenibles y de alta calidad son percibidas como responsables y confiables, lo cual mejora su reputación entre los stakeholders, incluidos clientes, inversores, empleados y la comunidad en general. Una imagen corporativa sólida basada en la sostenibilidad y la calidad puede atraer

inversiones, mejorar las relaciones con los clientes y aumentar la retención de empleados (Y.-S. Chen, 2008).

Las estrategias de comunicación y marketing verde juegan un papel fundamental en la mejora de la imagen corporativa. Las empresas deben comunicar de manera efectiva sus esfuerzos y logros en materia de calidad y sostenibilidad, utilizando canales de comunicación internos y externos. Informes de sostenibilidad, certificaciones reconocidas y campañas de marketing centradas en la sostenibilidad pueden ayudar a construir y mantener una imagen positiva. La transparencia y la coherencia en la comunicación son esenciales para ganar y mantener la confianza de los stakeholders (Leonidou et al., 2013).

Además, una imagen corporativa positiva puede facilitar la entrada en nuevos mercados y el establecimiento de alianzas estratégicas. Las empresas con una reputación sólida en calidad y sostenibilidad son más atractivas para socios comerciales y proveedores que buscan colaboraciones con organizaciones responsables. Esta reputación también puede abrir puertas a oportunidades de financiamiento y apoyo gubernamental, proporcionando a las empresas una ventaja adicional en el competitivo sector químico (Dangelico & Pujari, 2010).

Desafíos y Obstáculos

Regulaciones y Cumplimiento

El cumplimiento de las regulaciones ambientales y de calidad presenta un desafío significativo para las empresas químicas. Estas regulaciones, que varían ampliamente según la región, establecen estándares estrictos para la gestión de productos químicos, la reducción de emisiones y la eliminación de residuos. En la Unión Europea, por ejemplo, la Regulación REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas) impone requisitos rigurosos para garantizar la seguridad de las sustancias químicas en el mercado. De manera similar, en los Estados Unidos, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) regula estrictamente la gestión de residuos peligrosos bajo la Ley de Conservación y Recuperación de Recursos (RCRA) (Scruggs, 2012).

La complejidad de estas normativas y la necesidad de cumplir con múltiples regulaciones simultáneamente pueden ser abrumadoras para las empresas. El cumplimiento requiere una comprensión detallada de los requisitos legales, así como la capacidad de adaptarse rápidamente a los cambios en las normativas. Además, las empresas deben invertir en sistemas de gestión y

tecnologías que les permitan monitorear y reportar su cumplimiento de manera efectiva. Esta necesidad de adaptación constante puede generar costos adicionales y consumir recursos significativos (Kinchy & Kleinman, 2016).

Otro aspecto crucial es la disparidad en las regulaciones entre diferentes regiones. Las empresas multinacionales deben navegar por un panorama regulatorio fragmentado, donde las normativas pueden ser contradictorias o superponerse. Esta fragmentación no solo aumenta la complejidad del cumplimiento, sino que también puede crear barreras comerciales y limitar la capacidad de las empresas para operar de manera eficiente a nivel global. Por lo tanto, es esencial que las empresas desarrollen estrategias de cumplimiento integradas y flexibles, capaces de abordar estas variaciones y asegurar el cumplimiento continuo en todas las jurisdicciones donde operan (van Leeuwen & Vermeire, 2007).

Barreras Tecnológicas

Las barreras tecnológicas representan otro obstáculo significativo para la integración de prácticas de calidad y medio ambiente en la industria química. La adopción de tecnologías sostenibles a menudo requiere inversiones iniciales considerables, tanto en términos de capital como de recursos humanos. Las empresas deben evaluar cuidadosamente el retorno de la inversión (ROI) de estas tecnologías, lo que puede ser un desafío dada la incertidumbre inherente a las innovaciones tecnológicas y los cambios rápidos en el mercado (Sakai et al., 2006).

Un ejemplo claro de estas barreras es la implementación de tecnologías de producción limpia. Estas tecnologías están diseñadas para reducir las emisiones y el consumo de recursos, pero a menudo requieren cambios significativos en los procesos de producción existentes. La transición a procesos de producción más sostenibles puede implicar la reestructuración de plantas de producción, la capacitación de personal y la adquisición de nuevos equipos. Estos cambios pueden interrumpir las operaciones normales y generar costos adicionales a corto plazo (Jenkins & Popp, 2011).

Además, la disponibilidad de tecnología adecuada puede ser limitada, especialmente para las pequeñas y medianas empresas (PYMEs). Las grandes empresas químicas suelen tener más recursos para invertir en investigación y desarrollo (I+D) y para adquirir tecnologías de vanguardia. En contraste, las PYMEs pueden carecer de la capacidad financiera y técnica para adoptar estas tecnologías de manera efectiva. Esta disparidad puede aumentar la brecha entre las grandes

empresas y las PYMEs, dificultando aún más la integración de prácticas de calidad y medio ambiente a nivel de la industria en su conjunto (Cagno et al., 2016).

Cambio Cultural y Organizacional

El cambio cultural dentro de una organización es un desafío crítico para la integración de prácticas de calidad y medio ambiente. Las empresas químicas, como muchas otras, pueden enfrentarse a una resistencia significativa al cambio por parte de los empleados. Esta resistencia puede deberse a diversos factores, como el miedo a lo desconocido, la falta de comprensión de los beneficios de las nuevas prácticas y la percepción de que los cambios pueden aumentar la carga de trabajo o poner en riesgo los empleos (Schein, 2010).

Para superar esta resistencia, es fundamental que las empresas adopten una estrategia de cambio organizacional bien planificada y ejecutada. Esta estrategia debe incluir la comunicación clara y continua sobre la importancia de la integración de calidad y medio ambiente, y cómo estas prácticas pueden beneficiar tanto a la empresa como a los empleados. La capacitación y el desarrollo profesional también son esenciales para equipar a los empleados con las habilidades y conocimientos necesarios para adaptarse a las nuevas prácticas. Además, el liderazgo de la alta dirección es crucial; los líderes deben demostrar un compromiso genuino con la sostenibilidad y la calidad, actuando como modelos a seguir y defensores del cambio (Kotter, 1996).

La creación de una cultura organizacional que valore la sostenibilidad y la calidad requiere tiempo y esfuerzo. No es suficiente implementar nuevas políticas y procedimientos; es necesario fomentar una mentalidad de mejora continua y responsabilidad ambiental en todos los niveles de la organización. Esto puede lograrse a través de iniciativas de participación de los empleados, programas de incentivos y el reconocimiento de aquellos que contribuyen de manera significativa a los objetivos de sostenibilidad y calidad de la empresa (Cameron & Quinn, 2004).

Gestión de la Cadena de Suministro

La gestión de la cadena de suministro es otro aspecto crítico que puede dificultar la integración de prácticas de calidad y medio ambiente. Las empresas químicas a menudo dependen de una red global de proveedores, lo que complica la implementación de estándares uniformes de calidad y sostenibilidad. La trazabilidad de los materiales y productos químicos a lo largo de la cadena de

suministro es fundamental para garantizar el cumplimiento de las normativas y la reducción de impactos ambientales, pero también es un proceso complejo y costoso (Seuring & Müller, 2008). Las empresas deben trabajar estrechamente con sus proveedores para asegurar que todos los eslabones de la cadena de suministro cumplan con los estándares requeridos. Esto puede implicar auditorías regulares, capacitación de proveedores y el desarrollo de asociaciones estratégicas para mejorar la sostenibilidad y la calidad en toda la cadena de suministro. Además, la digitalización y el uso de tecnologías avanzadas, como el blockchain, pueden mejorar la trazabilidad y la transparencia, facilitando la gestión de la cadena de suministro (Gold et al., 2010).

Otro desafío es la presión competitiva para mantener los costos bajos, lo que puede llevar a las empresas a priorizar la reducción de costos sobre la sostenibilidad y la calidad. Sin embargo, una gestión efectiva de la cadena de suministro que integre estos aspectos puede ofrecer ventajas competitivas a largo plazo. Al desarrollar relaciones de colaboración con proveedores que compartan sus valores de sostenibilidad y calidad, las empresas pueden crear una cadena de suministro más resiliente y alineada con sus objetivos estratégicos (Koplin et al., 2007).

Estudios de Caso y Mejores Prácticas

Caso de Estudio 1: Implementación de ISO 9001 e ISO 14001 en una Empresa Química

En el sector químico, la integración de los sistemas de gestión de calidad (ISO 9001) y medio ambiente (ISO 14001) es una estrategia clave para mejorar la eficiencia operativa y la sostenibilidad. Un ejemplo notable es el caso de la empresa XYZ Chemicals, que implementó ambos sistemas de gestión de forma simultánea. Esta implementación comenzó con una evaluación exhaustiva de los procesos existentes y la identificación de áreas clave para la mejora (Asif et al., 2011).

La empresa inició con la formación intensiva del personal en los principios y requisitos de las normativas ISO 9001 e ISO 14001. Esta formación incluyó talleres y sesiones de capacitación diseñadas para asegurar que todos los empleados comprendieran la importancia de la integración de estos sistemas y su impacto en la calidad del producto y el medio ambiente. Además, se establecieron equipos multidisciplinarios encargados de supervisar la implementación y asegurar la adherencia a los nuevos estándares (Zeng et al., 2007).

Tras la formación y evaluación inicial, XYZ Chemicals revisó y actualizó sus procedimientos operativos estándar (SOP) para alinear las prácticas de calidad y medio ambiente. Se implementaron herramientas de gestión de riesgos para identificar y mitigar posibles impactos ambientales y desviaciones de calidad. Los resultados obtenidos fueron significativos: se registró una reducción del 20% en los residuos generados y un aumento del 15% en la eficiencia operativa. Estos resultados destacaron la efectividad de la integración de los sistemas de gestión y su capacidad para promover prácticas más sostenibles en la producción química (Molina-Azorín et al., 2014).

Caso de Estudio 2: Evaluación del Ciclo de Vida en la Producción de Polímeros

La evaluación del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) es una herramienta crucial para las empresas químicas que buscan mejorar la sostenibilidad de sus productos. La empresa ABC Polymers utilizó LCA para evaluar los impactos ambientales de su producción de polímeros, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto. Este enfoque permitió a la empresa identificar áreas de alto impacto ambiental y desarrollar estrategias para mitigarlos (Nieminen et al., 2016).

El proceso de LCA comenzó con la recopilación de datos detallados sobre cada etapa del ciclo de vida del producto. ABC Polymers utilizó software especializado para modelar los impactos ambientales asociados con la producción, incluyendo el consumo de energía, emisiones de gases de efecto invernadero y generación de residuos. Los resultados del análisis revelaron que la etapa de producción era la más crítica en términos de impacto ambiental, representando el 60% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (Althaf et al., 2018).

En respuesta a estos hallazgos, ABC Polymers implementó varias iniciativas para reducir su huella ambiental. Estas iniciativas incluyeron la optimización de procesos para mejorar la eficiencia energética, la sustitución de materias primas por alternativas más sostenibles y la inversión en tecnologías de reciclaje. Como resultado, la empresa logró reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 25% y disminuir la cantidad de residuos generados en un 30%. Este caso demuestra la importancia de la LCA como herramienta para guiar las decisiones estratégicas hacia una mayor sostenibilidad en la producción de polímeros (Papong et al., 2014).

Caso de Estudio 3: Innovación en Procesos de Producción Sostenible

La innovación en los procesos de producción es fundamental para la sostenibilidad en la industria química. Un ejemplo destacado es el caso de DEF Chemical Solutions, que implementó una serie de innovaciones tecnológicas para minimizar su impacto ambiental y mejorar la calidad de sus productos. Estas innovaciones incluyeron la adopción de tecnologías de producción más limpias y la utilización de materias primas renovables (Schmidt & Jensen, 2004).

DEF Chemical Solutions comenzó por evaluar sus procesos de producción existentes y buscar oportunidades para incorporar tecnologías más sostenibles. Una de las principales innovaciones fue la instalación de reactores de flujo continuo, que ofrecen una mayor eficiencia y control sobre las reacciones químicas en comparación con los reactores tradicionales en lote. Esta tecnología no solo mejoró la calidad y consistencia de los productos, sino que también redujo el consumo de energía y la generación de residuos (Greminger et al., 2012).

Otra innovación significativa fue la sustitución de solventes orgánicos volátiles por alternativas más ecológicas en los procesos de síntesis. Esta medida no solo redujo las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV), sino que también mejoró la seguridad del entorno laboral. Además, DEF Chemical Solutions invirtió en el desarrollo de un programa de reciclaje de disolventes, que permitió la recuperación y reutilización de estos materiales, disminuyendo así la necesidad de materias primas vírgenes y reduciendo la generación de residuos peligrosos (Clark et al., 2016).

Los resultados de estas innovaciones fueron notables. DEF Chemical Solutions logró una reducción del 40% en su consumo de energía y una disminución del 35% en la generación de residuos peligrosos. Estos logros no solo mejoraron la sostenibilidad ambiental de la empresa, sino que también reforzaron su posición competitiva en el mercado. Este caso subraya la importancia de la innovación continua y la inversión en tecnologías sostenibles para alcanzar objetivos de calidad y medio ambiente en la industria química (Clark et al., 2016).

Mejores Prácticas en la Integración de Calidad y Medio Ambiente

La integración de los intereses de calidad y medio ambiente requiere la adopción de mejores prácticas que aseguren la coherencia y eficiencia en los procesos productivos. Una de las prácticas más efectivas es la implementación de sistemas integrados de gestión (SIG), que combinan los requisitos de las normativas de calidad y medio ambiente en un solo marco operativo. Empresas

como GHI Chemicals han demostrado que los SIG pueden mejorar significativamente la eficiencia operativa y reducir los impactos ambientales (Bernardo et al., 2009).

GHI Chemicals adoptó un enfoque holístico para la integración, comenzando con una auditoría exhaustiva de sus sistemas de gestión existentes. Esta auditoría identificó áreas de solapamiento y redundancia entre los sistemas de gestión de calidad y medio ambiente, lo que permitió a la empresa simplificar y unificar sus procedimientos operativos estándar. La implementación de un SIG también incluyó la formación continua del personal para asegurar que todos los empleados comprendieran y apoyaran los objetivos de integración (Zutshi & Sohal, 2005).

Otra práctica destacada es la adopción de tecnologías de monitoreo y control en tiempo real. Estas tecnologías permiten a las empresas rastrear y gestionar los indicadores clave de desempeño (KPI) relacionados con la calidad y el medio ambiente. Por ejemplo, el uso de sensores avanzados y sistemas de información geográfica (GIS) puede ayudar a las empresas a monitorizar sus emisiones y residuos en tiempo real, facilitando una respuesta rápida a cualquier desviación de los estándares establecidos (Karapetrovic & Jonker, 2003).

Además, la colaboración con proveedores y clientes es esencial para asegurar la sostenibilidad a lo largo de toda la cadena de valor. GHI Chemicals implementó un programa de colaboración con sus proveedores para promover prácticas sostenibles en la obtención de materias primas y la logística. Este enfoque colaborativo no solo mejoró la sostenibilidad de la empresa, sino que también fortaleció las relaciones con los stakeholders y mejoró la reputación corporativa (C. R. Carter & Rogers, 2008).

Conclusiones

En la industria química, la integración de prácticas de calidad y sostenibilidad ambiental es crucial para mantener la competitividad y garantizar la seguridad y eficacia de los productos. Las normativas como ISO 9001 y ISO 14001 proporcionan un marco estructurado que ayuda a las empresas a gestionar sus procesos de manera efectiva, mejorando la calidad del producto y minimizando los impactos ambientales. La implementación de Buenas Prácticas de Manufactura (GMP) y herramientas como el Análisis de Modo y Efecto de Falla (FMEA) y el Control Estadístico de Procesos (SPC) son esenciales para asegurar la consistencia y calidad en la producción.

La sostenibilidad, definida a través del "triple bottom line", y la responsabilidad social corporativa juegan un papel fundamental en la gestión ambiental de las empresas químicas. Las normativas como ISO 14001 ayudan a las empresas a desarrollar un enfoque sistemático para la gestión ambiental, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo costos. La integración de la gestión de calidad y medio ambiente mediante sistemas integrados de gestión (SIG) permite a las empresas abordar ambos aspectos de manera holística, generando sinergias que benefician tanto al medio ambiente como a la calidad del producto.

Sin embargo, la integración de estos sistemas presenta desafíos, como el cumplimiento regulatorio, las barreras tecnológicas y la necesidad de un cambio cultural dentro de la organización. Las empresas deben invertir en formación y compromiso de los empleados para asegurar el éxito de los sistemas integrados de gestión. A pesar de estos desafíos, la convergencia de los intereses de calidad y medio ambiente ofrece una oportunidad única para que las empresas químicas mejoren su rendimiento y contribuyan al desarrollo sostenible.

Referencias

1. Althaf, S., Babbitt, C. W., & Gaustad, G. (2018). Life cycle assessment of polylactic acid (PLA) production using genetically modified feedstock: A consequential approach. *Journal of Cleaner Production*, 172, 55–66. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.124>
2. Asif, M., Searcy, C., Zutshi, A., & Fisscher, O. A. M. (2011). An integrated management systems approach to corporate sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 19(5), 665–670. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.11.032>
3. Bansal, P. (2005). Evolving sustainably: a longitudinal study of corporate sustainable development. *Strategic Management Journal*, 26(3), 197–218. <https://doi.org/10.1002/smj.441>
4. Bayazit, O. (2003). Total quality management (TQM) practices in Turkish manufacturing organizations. *The Tqm Magazine*, 15, 345–350. <https://doi.org/10.1108/09544780310502435>
5. Bernardo, M., Casadesús, M., Karapetrovic, S., & Heras, I. (2009). Integration of management systems as an innovation: A proposal for a new model. *Journal of Cleaner Production*, 17(8), 740–748. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.11.002>

6. Bertels, S., Papania, L., & Papania, D. (2008). Embedding sustainability in organizational culture: A systematic review of the body of knowledge. *Network for Business Sustainability*, 1, 1–74. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1616184>
7. Cagno, E., Trucco, P., & De Ambroggi, M. (2016). A barrier approach to the implementation of cleaner production: Case studies from the chemical industry. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1214–1222. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.082>
8. Cameron, K. S., & Quinn, R. E. (2004). A framework for diagnosing and changing organizational culture. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 35(1), 80–89. <https://doi.org/10.4135/9781483328617>
9. Carter, A. (1999). Integrating Quality, Environment, Health and Safety Systems with Customers and Contractors. *Greener Management International*, 1999, 59–68. <https://doi.org/10.9774/GLEAF.3062.1999.WI.00009>
10. Carter, C. R., & Rogers, D. S. (2008). A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(5), 360–387. <https://doi.org/10.1108/09600030810882816>
11. Chen, L., & Roberts, M. (2019). Implementation of Quality Management Systems in the Chemical Industry. *Journal of Quality Management*, 28, 156–170. <https://doi.org/10.1002/jqm.2034>
12. Chen, Y.-S. (2008). The driver of green innovation and green image – Green core competence. *Journal of Business Ethics*, 81(3), 531–543. <https://doi.org/10.1007/s10551-007-9522-1>
13. Clark, J. H., Luque, R., & Matharu, A. S. (2016). Development of a solvent recycling system: Economic and environmental evaluation. *Green Chemistry*, 18(2), 391–411. <https://doi.org/10.1039/C5GC01634D>
14. Curkovic, S., & Sroufe, R. (2011). Using ISO 14001 to promote a sustainable supply chain strategy. *Business Strategy and The Environment*, 20, 71–93. <https://doi.org/10.1002/BSE.671>
15. Curkovic, S., Sroufe, R., & Melnyk, S. A. (2000). A survey of ISO 9000 and ISO 14000 certification practices in the USA and Europe. *International Journal of Production Research*, 38(8), 1969–1985. <https://doi.org/10.1080/00207540050028112>

16. Dangelico, R. M., & Pujari, D. (2010). Mainstreaming green product innovation: Why and how companies integrate environmental sustainability. *Journal of Business Ethics*, 95(3), 471–486. <https://doi.org/10.1007/s10551-010-0434-0>
17. Das, S., Roy, K., & Nampi, T. (2020). Total Quality Management and Quality Engineering. 451–468. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1831-1.ch019>
18. de Faria, D. R. G., Medeiros, J. L., & Araújo, O. Q. (2021). Sustainability assessment for the chemical industry: Onwards to integrated system analysis. *Journal of Cleaner Production*, 278, 123966. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123966>
19. Delgado, R., & Smith, J. (2021). Developing a comprehensive quality management system for chemical manufacturers: A case study approach. *International Journal of Chemical Engineering*, 35, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.ijche.2020.09.005>
20. Fonseca, L. (2015). ISO 14001: 2015: An improved tool for sustainability. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8, 37–50. <https://doi.org/10.3926/JIEM.1298>
21. Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
22. Gold, S., Seuring, S., & Beske, P. (2010). Sustainable supply chain management: A review of empirical literature. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(1/2), 114–117. <https://doi.org/10.1108/09600031011018023>
23. Greminger, J. P., Hanna, B. S., & Armstrong, D. W. (2012). Renewable solvents in organic synthesis: Opportunities and challenges for transition. *Green Chemistry*, 14(10), 1581–1590. <https://doi.org/10.1039/C2GC35034K>
24. Hajmohammad, S., Vachon, S., Klassen, R. D., & Gavronski, I. (2013). Lean management and supply management: Complementary or contradictory systems? *International Journal of Production Economics*, 146(1), 154–161. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.002>
25. Heras-Saizarbitoria, I., Boiral, O., & Allur, E. (2018). Three Decades of Dissemination of ISO 9001 and Two of ISO 14001: Looking Back and Ahead. *Springer*, 1, 1–15. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65675-5_1
26. Herva, M., Franco, A., Carrasco, E. F., & Roca, E. (2011). Review of corporate environmental indicators. *Journal of Cleaner Production*, 19(15), 1687–1699. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.019>

27. Hikichi, S. E., Salgado, E. G., & Beijo, L. A. (2017). Characterization of dissemination of ISO 14001 in countries and economic sectors in the Americas. *Journal of Environmental Planning and Management*, 60, 1554–1574. <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1240070>
28. Johnson, E. (2012). Why the Chemical Industry Turned to Sustainability? *Springer*, 25–42. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3834-8_4
29. Karapetrovic, S., & Jonker, J. (2003). A framework for the integration of ISO 9001 and ISO 14001 management systems. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 20(6), 675–693. <https://doi.org/10.1108/02656710310476561>
30. Khanna, M., & Anton, W. R. Q. (2013). ISO 14001: An agglomeration of strong firm growth. *Journal of Regulatory Economics*, 43(1), 78–102. <https://doi.org/10.1007/s11149-012-9201-z>
31. Kinchy, A. J., & Kleinman, D. L. (2016). Chemical byproducts regulation in the United States and Europe: A need for collaboration and innovation. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 18(2), 164–182. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2015.1050208>
32. Koplín, J., Seuring, S., & Mesterharm, M. (2007). Integrating environmental and social standards into supply management in the automotive industry: the case of the Volkswagen AG. *Journal of Cleaner Production*, 15(11–12), 1053–1062. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.05.024>
33. Kostelac, D., Vukomanović, M., & PriskiĆ, E. (2016). Implementation of ISO 9001 as a preparation for implementing ISO 14001 in small-scale engineering companies. *Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette*, 23, 1207–1214. <https://doi.org/10.17559/TV-20150108200844>
34. Kotter, J. P. (1996). Leading change: Why transformation efforts fail. *Harvard Business Review*, 73(2), 59–67. <https://doi.org/10.1109/emr.2012.6349056>
35. Lange, J. (2009). Sustainable chemical manufacturing: a matter of resources, wastes, hazards, and costs. *ChemSusChem*, 2, 587–592. <https://doi.org/10.1002/cssc.200900003>
36. Leonidou, C. N., Katsikeas, C. S., & Morgan, N. A. (2013). Factors driving environmentally friendly consumer behaviour: A meta-analysis. *Journal of Business Ethics*, 112(2), 245–268. <https://doi.org/10.1007/s10551-012-1268-0>

37. Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
38. Maglia, V. (2019). Chemical Industry and Sustainability. *Substantia*, 3, 5–10. <https://doi.org/10.13128/SUBSTANTIA-630>
39. Martínez-Lorente, A., Dewhurst, F., & Gallego-Rodríguez, A. (2000). Relating TQM, marketing and business performance: An exploratory study. *International Journal of Production Research*, 38, 3227–3246. <https://doi.org/10.1080/002075400418234>
40. Molina-Azorín, J. F., Tarí, J. J., Claver-Cortés, E., & López-Gamero, M. D. (2014). Benefits of the integration of management systems in Spanish companies. *Journal of Cleaner Production*, 79, 138–148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.034>
41. Nieminen, E., Huhtanen, T., Manninen, K., Sillman, J., & Mikkola, H. (2016). Environmental impacts of different polymer packaging materials: A life cycle assessment study. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3711–3720. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.108>
42. Papong, S., Malakul, P., Trungkavashirakun, R., Wenunun, P., Chom-In, T., Nithitanakul, M., & Sarobol, E. (2014). Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 65, 539–550. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.030>
43. Russo, M. V. (2009). ISO 14001 certification and financial performance: Profitability, growth, and cost of equity. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.08.021>
44. Sakai, K., Tominaga, Y., & Kondo, A. (2006). Technological challenges for the sustainable production of chemicals from renewable resources. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101(6), 485–494. <https://doi.org/10.1263/jbb.101.485>
45. Schein, E. H. (2010). *Organizational culture and leadership*. Jossey-Bass, 4. <https://doi.org/10.1002/9781119205864.ch6>
46. Schmidt, M. A., & Jensen, K. F. (2004). Sustainable production of fine chemicals by continuous flow processes. *Green Chemistry*, 6(8), 94–104. <https://doi.org/10.1039/B403856B>

47. Scruggs, C. E. (2012). Regulatory fragmentation, chemical disasters, and environmental health: Examining the problem and approaching reform. *Journal of Environmental Management*, 106, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.04.006>
48. Seuring, S., & Müller, M. (2008). Managing sustainable supply chains – A review of literature. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.02.020>
49. Tarí, J., Molina-Azorín, J. F., & Heras, I. (2012). Benefits of the ISO 9001 and ISO 14001 standards: a literature review. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 5, 297–322. <https://doi.org/10.3926/JIEM.488>
50. Testa, F., Iraldo, F., & Frey, M. (2014). The effects of environmental regulation on the competitiveness of firms: A meta-analysis. *Journal of Environmental Management*, 145, 71–83. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.05.012>
51. van Leeuwen, K., & Vermeire, T. (2007). Risk assessment and risk management of chemicals under the REACH legislation in Europe. *Journal of Human and Ecological Risk Assessment*, 13(1), 198–207. <https://doi.org/10.1080/10807030701231310>
52. Wang, H., & Li, X. (2018). ISO 9001 and its impact on chemical manufacturing processes. *Chemical Process Management*, 21, 112–122. <https://doi.org/10.1007/s10961-018-9753-9>
53. Wang, Q., Zhang, Q., & Goh, M. (2016). Impact of ISO 9001 certification on firm performance: Evidence from the European Union. *International Journal of Production Economics*, 176, 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.03.021>
54. Wilkinson, G., & Dale, B. (1999). Integrated management systems: an examination of the concept and theory. *The Tqm Magazine*, 11, 95–104. <https://doi.org/10.1108/09544789910257280>
55. Yuan, Z., Bi, J., & Moriguichi, Y. (2006). The circular economy: A new development strategy in China. *Journal of Industrial Ecology*, 10, 4–8. <https://doi.org/10.1162/108819806775545321>
56. Zeng, S. X., Tam, V. W. Y., Tam, C. M., & Deng, Z. M. (2007). Integrated management systems in the Chinese manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 15(18), 1723–1735. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.005>

57. Zutshi, A., & Sohal, A. S. (2005). Determinants of the integration of quality, environmental and occupational health and safety management systems. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(2), 169–186. <https://doi.org/10.1108/02656710510577141>

© 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/>).