

Seguridad y salud en el trabajo: una estrategia de competitividad en la spin-off de biorremediación de suelos y manejo de residuos agroindustriales¹

Occupational safety and health: a competitiveness strategy in the spin-off focused on soil bioremediation and agro-industrial waste management

Aracely García Cuan 

Magister en Biología Molecular y Biotecnología
Universidad Libre Seccional Barranquilla
aracely.garcia@unilibre.edu.co

Mario Peña Freile 

Magister en Ciencias Básicas y Biomédicas
Universidad Libre Seccional Barranquilla
malpefre@gmail.com

Jainer Molina Romero 

Magister en Seguridad y Salud en el Trabajo
Universidad Libre Seccional Barranquilla
jainer.molina@unilibre.edu.co

Albeiro Erazo Barrios 

Magister en Seguridad y salud en el trabajo
Universidad Libre Seccional Barranquilla
albezob29@gmail.com

Osmel Negrete Pérez 

Estudiante de Microbiología
Universidad Libre Seccional Barranquilla
osmel-negretep@unilibre.edu.co

Recibido: 18 diciembre 2024

Aceptado: 17 mayo 2025

DOI: <https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.37.12094>

Cómo citar: García Cuan, A., Peña Freile, M., Molina Romero, J., Erazo Barrios, A., & Negrete Pérez, O. (2025). Seguridad y salud en el trabajo: una estrategia de competitividad en la spin-off de biorremediación de suelos y manejo de residuos agroindustriales. Dictamen Libre, 37. <https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.37.12094>

Licencia Creative Commons
Atribución-CompartirIgual
4.0 Internacional



¹ Artículo derivado del proyecto de investigación “Alistamiento pre-comercial de una tecnología de biorremediación de suelos y eliminación de residuos a través de setas comestibles como modelos de negocios para Spin-off”, financiado por la empresa Air-e S.A.S. E.S.P., y la Universidad Libre Seccional Barranquilla.



Resumen

Las *spin-off* universitarias son empresas que surgen de la investigación académica y transfieren innovación al sector productivo, impulsando el desarrollo socioeconómico en diversos ámbitos. El texto analiza los desafíos y las oportunidades en la creación de una *spin-off* enfocada en la biorremediación de suelos y el manejo de residuos agroindustriales, destacando la importancia de la seguridad y salud en el trabajo (SST) como motor de competitividad y sostenibilidad. La metodología empleada corresponde a una revisión bibliográfica cualitativa en bases de datos reconocidas, mediante la selección de estudios originales y normativos relevantes para el período 2012–2023.

Los resultados demuestran que la integración sistemática de los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SG-SST), alineados con normativas nacionales e internacionales, fortalece la motivación y la protección del personal, optimizando el desempeño de estas empresas. Asimismo, se identifica la necesidad de mejorar la implementación de la SST dentro del marco legal vigente y se recomienda consolidar modelos adaptativos para *spin-off* tecnológicas, así como profundizar la investigación en futuras iniciativas.

Palabras clave: Seguridad y salud en el trabajo; *spin-off*; biorremediación; residuos agroindustriales; competitividad.

Abstract

University spin-offs are companies that emerge from academic research and transfer innovation to the productive sector, fostering socioeconomic development in various fields. The text analyzes the challenges and opportunities involved in the creation of a spin-off focused on soil bioremediation and agro-industrial waste management, highlighting the importance of occupational safety and health (OSH) as a driver of competitiveness and sustainability. The methodology employed consists of a qualitative bibliographic review conducted in recognized databases, selecting original and regulatory studies relevant to the period 2012–2023.

The results show that the systematic integration of occupational safety and health management systems (OSHMS), aligned with national and international regulations, strengthens staff motivation and protection, thereby optimizing the performance of these companies. Additionally, the need to improve the implementation of OSH within the existing legal framework is identified, and the consolidation of adaptive models for technological spin-offs is recommended, along with further research in future initiatives.

Keywords: Occupational safety and health; spin-off; bioremediation; agro-industrial waste; competitiveness.



Introducción

Las Spin-Off son empresas desarrolladas por investigadores en universidades o centros de investigación que transforman resultados de investigación en tecnologías y productos de alto valor agregado (Sánchez et al., 2021). Particularmente, las Spin-Off académicas se crean con el objetivo de transferir tecnologías del medio académico al empresarial (Simón, 2003). En las últimas décadas, a nivel mundial, este tipo de empresas se ha convertido en uno de los más eficaces mecanismos de transmisión de resultados de investigación al sector productivo, jugando un rol determinante en procesos de innovación, generación de empleo y, por ende, en el desarrollo socioeconómico regional y nacional; convirtiéndolas en objeto de estudio con creciente interés (Sánchez et al., 2021). En el ámbito nacional, durante los últimos años el estado colombiano ha enfocado el sistema de educación superior en su relación con las empresas (Ortega, 2017).

El presente trabajo se desarrolla en el contexto de consolidación de un proyecto empresarial bajo el modelo de Spin-Off. El proyecto cuenta con dos líneas de negocio: biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos y aprovechamiento de los residuos agroindustriales. Se hará énfasis en la segunda línea de negocios, que consiste en la transformación de residuos vegetales con abundante contenido de lignina en un abono orgánico que contiene una excelente composición de micro y macroelementos esenciales, implementando un innovador proceso tecnológico diseñado para disminuir los tiempos de operación en el tratamiento y cumpliendo con los requerimientos determinados por la norma colombiana para producción de abonos y fertilizantes.

La creación de una Spin-Off universitaria, como cualquier empresa de base tecnológica, está precedida por "la formación de una masa crítica", es decir, un conjunto acumulado de recursos, conocimiento e inversión necesarios para impulsar el crecimiento y la viabilidad de un proyecto o empresa (Simón, 2003). Una parte esencial de esta masa crítica es el proceso de Seguridad y Salud en el Trabajo, dado a que se enfoca en el recurso más importante de cualquier organización, su fuerza laboral, proporcionando una estrategia de productividad y competitividad laboral. La salud y motivación de los trabajadores se reflejará en buenos resultados para la empresa (Villada, 2017). En la proyección inicial del modelo empresarial Spin Off, la planificación de los procesos fundamentales organizacionales deben ser las acciones en el corto plazo, que permitan el inicio de actividades funcionales junto a factores de contingencia ante cualquier eventualidad.

Las tendencias en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo subrayan que una organización debe centrar su atención en "el ahorro de costos relacionados con accidentes y enfermedades profesionales, así como en otras ventajas de producción y eficiencia, tales como: la mejora en los niveles de motivación, cooperación y estado de ánimo de los trabajadores; la disponibilidad de empleados más productivos y métodos de trabajo más eficientes; la mejora en la calidad del reclutamiento y la retención del personal; la reducción de las primas de seguros; y la disminución de la posible exposición a procedimientos civiles o penales" (Ortega, 2017).

La relevancia de los procesos de salud y seguridad laboral no se limita únicamente al cumplimiento normativo, sino que debe orientarse hacia una cultura preventiva. La noción de prevención va más allá de identificar los medios técnicos para protegerse en el entorno laboral;



se centra en el concepto de cuidado que considera la vida como un valor fundamental, promoviendo comportamientos solidarios y protectores tanto hacia uno mismo como hacia los demás (Contreras-Pacheco & Lesmez-Peralta, 2021).

En este sentido el objetivo de este artículo es analizar el impacto en la implementación de estrategias de SST como factor de competitividad y sostenibilidad en Spin-off universitarias especializadas en biorremediación de suelos y manejo de residuos agroindustriales, mediante la revisión crítica de literatura científica y normativa publicada entre 2012 a 2023.

Materiales y métodos

La presente investigación se desarrolló mediante una revisión bibliográfica cualitativa, orientada a identificar y analizar las estrategias de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) que inciden en la competitividad de las Spin-off universitarias en el sector de biorremediación de suelos y manejo de residuos agroindustriales.

La búsqueda documental se realizó en bases de datos internacionales y especializadas, tales como Scopus, Web of Science, Dialnet y Redalyc, utilizando los descriptores “seguridad y salud en el trabajo”, “Spin-off”, “competitividad”, “agroindustrial” y “biorremediación”.

Criterios de Inclusión:

- Publicaciones científicas originales, artículos de revisión y documentos normativos publicados entre 2012 y 2023.
- Estudios experimentales, cuasi-experimentales, cualitativos y descriptivos que aborden la implementación de sistemas SST en Spin-off y el impacto en productividad o competitividad.
- Documentos oficiales, normas técnicas nacionales e internacionales (ISO; ICONTEC; OIT; legislación colombiana) aplicables a SST en empresas innovadoras.

Criterios de Exclusión:

- Estudios publicados fuera del rango temporal establecido.
- Artículos sin relación directa con SST, Spin-off, competitividad o empresas de base tecnológica.
- Informes con insuficiencia metodológica o sin resultados concretos aplicables al contexto estudiado.
- Publicaciones duplicadas, editoriales y materiales no revisados por pares.

El proceso de selección se estructuró en dos etapas: Una selección de 100 publicaciones relevantes seguida de una depuración temática y metodológica, lo que arrojó un grupo de 25 artículos focalizados en el impacto de la SST sobre la productividad y la competitividad empresarial. Estos documentos fueron analizados mediante técnicas de revisión cualitativa y comparativa, considerando concordancia y discrepancias en los modelos de gestión y en los efectos observados por la implementación de SST en Spin-off universitarias.



Resultados

Las Spin-Off universitarias han adquirido relevancia como medio de transmisión de conocimiento debido a su impacto en el crecimiento de economías nacionales y regionales, aportando innovación, creación de valor y aumento de empleo; lo que las ha colocado incluso por encima de otros medios de transferencia tecnológica (Smith, 2023). Se han registrado numerosas experiencias de interacción entre los agentes académicos e industriales, con el fin de satisfacer necesidades mutuas. En consecuencia, la colaboración de la universidad con agentes externos deja de ser una actividad fundamentalmente informal, como acontecía en el pasado, para adquirir un carácter mucho más formal. Entrando a ser regida en un marco legislativo que incluye la regulación de un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST), integrado por la Ley 1562 de 2012 (Congreso de la República, 2012), el Decreto 1072 de 2015 y la Resolución 0312 de 2019 (Ministerio de Trabajo, 2019).

A medida que la cooperación entre los distintos participantes se hace más profunda, esta se transforma en modalidades más sofisticadas. Esto conlleva una modificación de las funciones convencionales desempeñadas por cada uno, donde algunos asumen, en parte, las responsabilidades de otros. En este contexto, la transmisión de conocimientos a través de estudios, proyectos contractuales, investigación conjunta, la formación de Start-ups basadas en tecnología derivada de la investigación, la explotación de patentes, entre otros, se establece como una función esencial de la universidad. Por ello, la transferencia de conocimiento científico y tecnológico a la industria ha ganado relevancia como un factor de competitividad. Esto impulsa a las universidades a adoptar un rol proactivo que fortalezca la relación entre la universidad y la empresa, así como la transferencia de conocimientos.

La creciente relevancia de la transferencia de conocimiento universitario, y en particular la creación de Spin-offs, como mecanismo para impulsar la innovación y el desarrollo económico y social en el sector empresarial, ha despertado un mayor interés académico en este campo. Esto se ha traducido en un aumento en la cantidad de investigaciones dedicadas al estudio del proceso de transferencia tecnológica desde las universidades hacia las empresas.

La creación de este tipo de empresas de base tecnológica requiere, en términos legales y estratégicos, la implementación de un Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) que conlleva significativos costos iniciales en recursos financieros y humanos, pero ofrece beneficios a largo plazo tanto en términos económicos como competitivos. Además, el SG-SST requiere de mantenimiento continuo y actualización para asegurar su efectividad y cumplimiento normativo, lo que implica una gestión que asegure la disminución del número de accidentes y enfermedades relacionadas con el trabajo, dentro de una actividad y organización particular (Villada, 2017; Gutiérrez, 2022).

La metodología aplicada para la construcción de un sistema de gestión de SST se encontró en el ciclo Deming, que es una metodología sistemática para la mejora continua de los procesos de gestión de una organización. Su implementación está basada en el ciclo PHVA, acrónimo que está formado por las cuatro fases sucesivas que lo componen: Planear, Hacer, Verificar y Actuar. Se trata de un proceso diseñado para el mejoramiento continuo que involucra organización, planificación, políticas, evaluaciones, auditorías y acciones de mejoras, que se



anticipen a cualquier eventualidad (ISO, 2018). con metodologías avaladas por el instituto colombiano de norma técnica y certificación ICONTEC, como se tiene estipulado.

El proceso anteriormente mencionado se mantiene dentro de la gestión de riesgo en los ambientes laborales basados en la guía técnica colombiana GTC 45 “Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional” (ICONTEC, GTC 45, 2012). Esto implica realizar evaluaciones de riesgos detalladas para determinar las medidas de prevención y control adecuadas, lo que incluye identificación de peligros específicos, formación y capacitación del personal, diseño de procedimientos operativos seguros, control de la exposición de riesgos, gestión de residuos, auditorías y seguimiento (ICONTEC, GTC 45, 2012). Este entramado de actividades conllevó a adaptar el SG-SST a las características específicas del negocio de biorremediación de suelos y manipulación de residuos, para ingresar a esta unidad de negocio los aportes significativos que ofrece la seguridad y salud en el trabajo desde la productividad y competitividad, a una matriz dependiente como lo es una Spin-Off, identificando los riesgos asociados a la manipulación de residuos químicos, biológicos y radiactivos, así como los peligros relacionados con la exposición a sustancias tóxicas presentes en el suelo (Romantschuk et al., 2023) En consecuencia, se ve reflejada la aplicación de la norma como en la Tabla 1.

Tabla 1. Aplicación de la GTC 45 a una empresa de biorremediación y aprovechamiento de residuos

Formación y Capacitación del personal
El personal debe recibir una formación especializada en seguridad y salud ocupacional, que incluya aspectos específicos relacionados con la manipulación de residuos y la biorremediación de suelos. Esto incluye el manejo adecuado de equipos de protección personal (EPP), procedimientos de emergencia y primeros auxilios.
Diseño de procedimientos operativos seguros
Es necesario establecer procedimientos operativos seguros para todas las actividades relacionadas con la biorremediación de suelos y la manipulación de residuos. Esto incluye la correcta manipulación, transporte, almacenamiento y disposición final de los residuos, así como la implementación de medidas para prevenir la contaminación del suelo y el agua.
Control de la exposición
Se deben implementar medidas para controlar la exposición de los trabajadores a sustancias peligrosas presentes en los residuos y en el suelo. Esto puede incluir la utilización de sistemas de ventilación adecuados, la instalación de barreras de contención y la utilización de equipos de monitoreo para medir los niveles de contaminación.
Gestión de residuos
Se deben establecer procedimientos para la gestión adecuada de los residuos generados durante las actividades de biorremediación de suelos. Esto incluye la clasificación, segregación, almacenamiento temporal y disposición final de los residuos de acuerdo con la normativa vigente.
Auditorías y seguimiento
Es importante realizar auditorías periódicas para evaluar la eficacia del SG-SST y asegurar el cumplimiento de los procedimientos establecidos. Además, se debe llevar a cabo un seguimiento continuo de los indicadores de seguridad y salud ocupacional para identificar áreas de mejora.

Fuente: Elaborado por los autores



Una recomendación frecuente, presente en diferentes organismos, es utilizar el método histórico para realizar un bosquejo de información acerca de los riesgos laborales y accidentes asociados a la respectiva actividad económica de la organización empresarial, luego, realizar una comparación con la situación actual de la empresa. De manera que se obtengan resultados confiables en base a la magnitud de los accidentes laborales y se establezcan criterios de identificación de riesgos.

A pesar de la reglamentación encontrada y a los programas de Seguridad y Salud en el Trabajo, hay una coincidencia generalizada en afirmar que aún existen vacíos en diferentes países, sobre todo en aquellos que están en vía de desarrollo.

Por otra parte, las investigaciones en el campo de la economía de la salud y la seguridad en el trabajo es todavía incipiente. De la evolución temporal analizada, se observa que la mayor producción se encuentra en el periodo 2018-2022. Se resalta el interés de los investigadores por el tamaño de la empresa y su relación con la seguridad y la salud en el trabajo y la necesidad de las empresas de llevar a cabo la gestión de la seguridad y la salud en el trabajo. Entre los estudios incluidos aparecen algunos trabajos orientados a las pequeñas y medianas empresas, acerca del abordaje metodológico de los trabajos empíricos, en los cuales, se presentan enfoques cuantitativos y cualitativos para la realización del análisis final.

Un punto de convergencia de los diferentes artículos seleccionados en la revisión bibliográfica son los hechos más influyentes que han contribuido a la importancia de implementar la seguridad y salud en el trabajo en las empresas, son los que apuntan a diferentes accidentes e incidentes en empresas, que provocaron muertes, incapacidades permanentes y semipermanentes por no aplicar protocolos de prevención durante el desarrollo de las actividades laborales. Algunos documentos seleccionados para esta finalidad en esta investigación fueron:

Tabla 2. Publicaciones que enfatizan la importancia de la prevención en el trabajo

Año	Documento	Síntesis
2022	Mejora del desempeño ambiental, de seguridad y salud ocupacional: caso de una empresa peruana de agroquímicos (Ministerio de Trabajo, 2019)	En este artículo se describe el diseño y la implementación de un sistema de gestión en una empresa peruana del sector agroquímico que le permitió mejorar su desempeño en materia de medio ambiente, seguridad y salud ocupacional. Para el diseño del sistema de gestión. Determinaron grado de significación 5 para el riesgo químico y biológico, aún alto para las metas establecidas.
2020	Enmarcando la seguridad y la salud en el trabajo: entre lo reglamentario, lo estratégico y lo moral (Congreso de la República, 2012)	En el análisis identificado en algunas empresas existen desequilibrios en cuanto a la forma de transmitir información relevante por medio de mensajes y canales oficiales, en el tema de seguridad y salud en el trabajo.
2016	Riesgos laborales trabajadores centro de acopio almidón de yuca sitio tarugo (Villada, 2017)	Se evidencio que los riesgos laborales de factor físico son del 31%, el ergonómico 26% y el psicosocial de 16%, mediante la propuesta de mejora se estableció el uso de indicadores, estrategias y acciones ergonómicas, físicas, de seguridad social y salud ocupacional, que ayuden a minimizar los accidentes laborales



Año	Documento	Síntesis
2016	Dimensión económica de la seguridad y la salud en el trabajo: una revisión de literatura (Riaño-Casallas, & Palencia-Sánchez, 2016)	Concluyen la importancia de las evaluaciones económicas de las intervenciones en seguridad y salud en el trabajo, los sistemas de gestión en salud laboral, la relación entre salud y productividad y los costos del accidente y la enfermedad laboral.
2014	La Gestión de la Salud y Seguridad en el Trabajo y Promoción de la Salud y Seguridad en el Trabajo (Presidencia de la República, 2015)	Concluyeron que aún existen barreras para articular los programas de seguridad y salud en el trabajo, como elemento central de los modelos de gestión, cuya principal divergencia puede ser considerarlos como elementos y/o acciones fragmentadas.
2021	Bibliometric Analysis of current status on bioremediation of petroleum-contaminated soil (Song <i>et al.</i> , 2021)	Explora tendencias, tecnologías y resultados en biorremediación, informando la relevancia competitiva y sostenibilidad de las estrategias empresariales en salud y medio ambiente
2023	Bioremediation of contaminated soil and groundwater by in situ biostimulation (Romantschuk <i>et al.</i> , 2023).	Aplica a la temática de biorremediación de suelos, relevante para Spin-off y gestión de residuos agroindustriales.

Fuente: Elaborado por los autores

Las publicaciones en la Tabla 2 coinciden en lo enunciado por la OIT, que considera que “la prevención es clave para mejorar la salud y seguridad en el trabajo y se ha planteado la importancia de lograr que las estrategias para evitar accidentes y enfermedades laborales sean reforzadas con un diálogo social que involucre a gobiernos y a organizaciones de empleadores y de trabajadores” (Vega, 2021; OIT, C 155, 1981)

Por otro lado, un número considerable de publicaciones tratan el sobre costo económico y administrativo de no implementar un Sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo:

Tabla 3. Implicaciones económicas de la no aplicación de un sistema de seguridad y salud en el trabajo

Año	Documento	Doi
2022	Mejora del desempeño ambiental, de seguridad y salud ocupacional: caso de una empresa peruana de agroquímicos (Ministerio de Trabajo, 2019)	DOI: https://doi.org/10.15381/idata.v25i2.21666
2020	Enmarcando la seguridad y la salud en el trabajo: entre lo reglamentario, lo estratégico y lo moral (Congreso de la República, 2012)	DOI: https://doi.org/10.21158/01208160.n90.2021.2874
2017	Evaluación financiera del sistema de seguridad y salud ocupacional en la empresa privada y su impacto económico – social (Presidencia de la República, 2022)	http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=25749951007
2016	Riesgos laborales trabajadores centro de acopio almidón de yuca sitio tarugo (Villada, 2017)	DOI: https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v7i2.394



Año	Documento	Doi
2016	Dimensión económica de la seguridad y la salud en el trabajo: una revisión de literatura (Riaño-Casallas & Palencia-Sánchez, 2016)	https://doi.org/10.11144/Javeriana.rgyps15-30.dess
2014	La Gestión de la Salud y Seguridad en el Trabajo y Promoción de la Salud y Seguridad en el Trabajo (Presidencia de la República, 2015)	https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/49519/1032434979.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y
2014	Condiciones de salud y trabajo en las personas que laboran informalmente en el sector agropecuario de Popayán (ISO, 2018)	https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=194229980010

Fuente: Elaborado por los autores

Las anteriores publicaciones (descritas en la Tabla 3) a partir de la evaluación de los costos económicos conexos, la magnitud de las repercusiones de los accidentes, las enfermedades profesionales y de grandes desastres industriales, se concluye que si no se considera fundamental el bienestar y protección laboral del recurso humano, la organización enfrentará con mayor probabilidad complicaciones legales, económicas y sociales (Song *et al.*, 2021) Entre estos aspectos destaca el financiero; la evaluación de impacto económico y social de la inversión que se realiza en distintivas actividades de la empresa, para cuantificar de manera objetiva sus resultados en términos monetarios.

Discusión

Se ha evidenciado una brecha persistente entre la generación de conocimiento académico mediante la investigación y su aplicación práctica en el sector productivo, lo que ha motivado la necesidad de que la universidad desempeñe un papel más activo en la transferencia y demostración de la utilidad potencial de este conocimiento para la adopción efectiva por la industria. En este contexto, las Spin-off universitarias emergen como una solución alternativa relevante, actuando como vehículos de transferencia tecnológica e innovación (Beraza & Rodríguez, 2010). Su impulso ha sido catalizado en Colombia por la promulgación de marcos regulatorios como el Decreto 1556 de 2022, que sancionan la creación y organización de Spin-off, favoreciendo la articulación entre universidad y empresa e impulsando la innovación como componente estratégico del desarrollo nacional (Romero *et al.*, 2023).

Particularmente el área de biotecnología destaca entre los campos con mayor proyección comercial y capacidad para transformar el conocimiento académico en soluciones innovadoras y comercializables. Este enfoque resulta especialmente importante porque subsana la limitada experiencia comercial típica de los investigadores en el ámbito académico puramente científico, permitiendo además que las innovaciones biotecnológicas tengan aplicación extendida en el tiempo y sectores productivos diversos (Beraza & Rodríguez, 2010). En este marco la biorremediación de suelos y gestión de residuos agroindustriales ejemplifican campos donde los resultados directos de la investigación pueden tener impacto transformador inmediato.



Sin embargo, los comienzos de una Spin-off, y especialmente en el sector biotecnológico, implican enfrentar riesgos laborales tanto en actividades administrativas como principalmente en los procesos operativos, en donde la manipulación de residuos y exposición a agentes químicos y biológicos presentan retos significativos para la integridad del recurso humano y la sostenibilidad del emprendimiento (Jiménez, 2017; Eraso, 2014). Estos riesgos si no son gestionados desde un enfoque integral y preventivo pueden afectar tanto la salud y el bienestar de los trabajadores como el rendimiento económico, la productividad operativa y el posicionamiento competitivo de la Spin-off.

Diversos estudios recientes han puesto de manifiesto que muchas empresas, incluso innovadoras b, continúan subestimando la importancia de la seguridad y salud en el trabajo (SST) como un eje estratégico que trasciende el mero cumplimiento normativo. La evidencia recogida en Ecuador, donde solo un pequeño porcentaje de empresas fue evaluado en materia de prevención de riesgos laborales, refleja una realidad extrapolable a muchos países en desarrollo. Este desafío se encuentra agravado por los costos tangibles derivados de los accidentes y enfermedades laborales. Que afectan en última instancia el bienestar personal y los objetivos organizacionales (Riaño-Casallas & Palencia-Sánchez, 2016).

En respuesta, la literatura internacional más actual subraya la necesidad de adoptar un enfoque estratégico de los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SG-SST) desde el inicio del ciclo de vida de las empresas de base tecnológica, superando el enfoque reactivo y formalista para situar la SST en el centro de la gestión de innovación y sostenibilidad. Este aspecto es reforzado por los aportes de Romantschuk *et al.* (2023), quienes demuestran que el éxito de la biorremediación in situ depende no sólo de avances científico-técnicos, sino de sistemas robustos de capacitación, protocolos de seguridad y gestión integral de riesgos laborales y ambientales. Song *et al.* (2021) también destacan que la evolución y competitividad del sector de la biorremediación pasa por la innovación tecnológica continua y la profesionalización de los equipos, articulando la capacitación y la gestión eficiente de residuos como pilares de la sustentabilidad empresarial.

Además, los avances en digitalización, sensores inteligentes y plataforma IoT han revolucionado la gestión eficiente de la SST. Estas herramientas posibilitan el monitoreo ambiental en tiempo real, la recopilación automatizada de datos de riesgos y la creación de sistemas predictivos que anticipan accidentes antes que tengan consecuencias graves. La integración de inteligencia artificial y simulación virtual en la formación del personal incrementa significativamente la eficacia de los programas preventivos y reduce la incidencia de accidentes, aportando valor tanto operacional como social en las Spin-off e industrias relacionadas.

Cabe señalar que, aunque existe consenso sobre la importancia estratégica de la SST, aún hay una escasez de investigaciones que cuantifiquen de manera sistemática el retorno de inversión de estos sistemas en el contexto de la Spin-off y PYMES innovadoras (Romantschuk *et al.*, 2023; Song *et al.*, 2021). La actualización permanente y la adaptación de protocolos a los avances regulatorios y tecnológicos internacionales se configuran como retos y oportunidades permitiendo a las Spin-off posicionarse como referentes de innovación responsable.

La propuesta desarrollada se distingue por articular la gestión se distingue por articular la gestión de la SST desde la perspectiva estratégica, adaptando metodologías internacionales



a la realidad latinoamericana y favoreciendo la replicabilidad. El enfoque incluye el ciclo PHVA para la mejora continua, la integración de indicadores de impacto ambiental y social y la colaboración activa entre academia, industria y sector gubernamental, alimentándose plenamente con las tendencias globales y lineamientos de la ISO (Romantschuk, M. *et al.*, 2023).

Finalmente, aunque la literatura actual reconoce limitaciones en términos de calidad y cantidad de evidencias empíricas, la actualización de referencias internacionales fortalece la validez y actualidad de la presente discusión, situando la iniciativa en la frontera del conocimiento práctico y aportando lineamientos transferibles a otras realidades empresariales y contextos emergentes en América Latina y el mundo. Las futuras líneas de investigación deberán focalizarse en la cuantificación objetiva de los impactos de la SST sobre productividad, bienestar y competitividad, así como la adaptación de tecnologías emergentes a entornos de innovación acelerada (Romantschuk *et al.*, 2023; Song *et al.*, 2021).

Conclusiones

En síntesis, la introducción de un enfoque estratégico, innovador y preventivo en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo representa una contribución fundamental para la competitividad, sostenibilidad y éxito de las Spin-off de base biotecnológica dedicadas a la biorremediación y el aprovechamiento de residuos. Los avances científicos recientes, así como las tendencias internacionales en digitalización, bienestar laboral e integración tecnológica, validan la pertinencia y oportunidad de la propuesta, sosteniendo la necesidad de fortalecer la investigación aplicada, la profesionalización y la responsabilidad social en este campo.

De este modo, el proyecto se ubica en la frontera del conocimiento, aportando un marco de referencias adaptable y propositivo que puede guiar tanto a futuros investigadores como a emprendedores y responsables de políticas públicas, consolidando un ecosistema de innovación con impacto positivo en la salud, el ambiente y la economía.

Agradecimientos

A la empresa AIR-e, a la Universidad Libre Seccional Barranquilla por el apoyo como patrocinadores del proyecto Titulado “Alistamiento pre-comercial de una tecnología de biorremediación de suelos y eliminación de residuos a través de setas comestibles como modelos de negocios para Spin-off” al cual está vinculado este artículo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses con la publicación de este artículo.



Referencias

- Beraza Garmendia, J. M., & Rodríguez Castellanos, A. (2010). Factores determinantes de la utilización de las *spin-offs* como mecanismo de transferencia de conocimiento en las universidades. *Investigaciones europeas de dirección y economía de la empresa*, 16(2), 115–135. [https://doi.org/10.1016/s1135-2523\(12\)60115-4](https://doi.org/10.1016/s1135-2523(12)60115-4)
- Conferencia General de la Organización Internacional del Trabajo. C 155: Convenio sobre seguridad y salud de los trabajadores (1981) [Internet]. OIT, C 155 Disponible en: https://normlex.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C155
- Congreso de la República (2012). Ley 1562 de 2012. Colombia.
- Contreras-Pacheco, O. E., y Lesmez-Peralta, J. C. (2021). Enmarcando la seguridad y la salud en el trabajo: entre lo reglamentario, lo estratégico y lo moral. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, (90), 101–122. <https://doi.org/10.21158/01208160.n90.2021.2874>
- Eraso Cháves, J. M. (2014). La Gestión de la Salud y Seguridad en el Trabajo y Promoción de la Salud y Seguridad en el Trabajo: Revisión Bibliográfica. *Facultad de Enfermería*.
- Fundación Laboral de la Construcción (2018). Antecedentes históricos sobre salud en el trabajo [Internet][citado el 6 de agosto de 2024]. Disponible en: https://www.lineaprevencion.com/uploads/lineaprevencion/contenidos/files/640_01-antecedentes-historicos-sobre-salud-en-el-trabajo-compressed.pdf
- Gómez, F. I. V. (2021). *Antecedentes, gestión y desarrollo de las Spin-off universitarias en España* [Universidad de Extremadura]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=291882>
- Gutiérrez Falcón, P. C. (2022). Mejora del desempeño ambiental, de seguridad y salud ocupacional: caso de una empresa peruana de agroquímicos. *Industrial Data*, 25(2), 29-54. Epub 00 de diciembre de 2022. <https://dx.doi.org/10.15381/idata.v25i2.21666>
- Iglesias Sánchez, P. P., Jambrino Maldonado, C., & Peñafiel Velasco, A. (2012). Caracterización de las Spin-Off universitarias como mecanismo de transferencia de tecnología a través de un análisis clúster. *Revista europea de dirección y economía de la empresa*, 21(3), 240–254. <https://doi.org/10.1016/j.redee.2012.05.004>
- International Organization for Standardization (2018). ISO 45001: 2018. Secretaría Central de ISO Suiza.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2012). GTC 45: Guía para la identificación de los peligros y valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. ICONTEC, GTC 45 Colombia: Base de datos e-collection Icontec; p. 1–42.
- Jiménez, E. (2017). Evaluación financiera del sistema de seguridad y salud ocupacional en la empresa privada y su impacto económico–social. *Actualidad contable FACES*, 20(34), 102-118.



Ministerio de Trabajo (2019). Resolución 0312 de 2019. Colombia: Presidencia de la República.

Ortega Alarcón, J. A. (2017). Importancia de la seguridad de los trabajadores en el cumplimiento de procesos, procedimientos y funciones. *Academia & derecho*, 14, 155–175. <https://doi.org/10.18041/2215-8944/academia.14.1490>

Presidencia de la República (2022). Decreto 768 de 2022 [Internet]. 768 Colombia: Función Pública; Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=186926>

Presidencia de la República (2022). Decreto 1556 de 2022. Colombia: Función Pública.

Presidencia de la República (2015). Decreto 1072 de 2015 [Internet]. 1072 Colombia: Función Pública. Disponible en: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173>

Riaño-Casallas, M. I., & Palencia-Sánchez, F.. (2016). Dimensión económica de la seguridad y la salud en el trabajo: una revisión de literatura. *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, 15(30), 24-37. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.rgyps15-30.dess>

Romantschuk, M., Lahti-Leikas, K., Kontro, M., Galitskaya, P., Talvenmäki, H., Simpanen, S., Allen, J. A., & Sinkkonen, A. (2023). Bioremediation of contaminated soil and groundwater by in situ biostimulation. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1258148. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1258148>.

Romero Rueda, F., Rueda Forero, P., Estevez, F. A., & Barrientos Monsalve, E. J. (2023). *LA IMPORTANCIA DE LA CREACION DE LAS SPIN-OFF ACADEMICAS. REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, 2(40). <https://doi.org/10.24054/rcta.v2i40.2353>

Simón, E. K. (2003) La creación de empresas de base tecnológica: Una experiencia práctica. Proyecto para la promoción de empresas innovadoras de base tecnológica. España. *Social y Cooperativa*, 96, 65-90. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/275959242>

Song, Y., Li, R., Chen, G., Yan, B., Zhong, L., Wang, Y., Li, Y., Li, J., & Zhang, Y. (2021). Bibliometric analysis of current status on bioremediation of petroleum contaminated soils during 2000-2019. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8859. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168859>

Smith, H. L. (2023). *The geography of academic entrepreneurship: Spin-offs, firm growth and regional impact*. Edward Elgar Publishing.

Villada, H. L. (2017). *La salud ocupacional como estrategia de productividad de una empresa, utilizando como herramientas la competitividad y el capital intelectual*. Bogotá D.C., Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/875177b5-d3d5-4147-a832-d3a78e9f4e46/content>



Zamora Cusme, Y., Montesdeoca Calderón, M., Negrin Sosa, E., & Párraga Álava, J. (2016). Riesgos laborales trabajadores centro de acopio almidón de yuca sitio tarugo. *Eca Sinergia*, 7(2), 102. https://doi.org/10.33936/eca_sinergia.v7i2.394

