Volumen 1

ORP journal
Para la mejora e innovación de la empresa

XXVI CONGRESO INTERNACIONAL ORP 2026

ARGENTINA

Buenos Aires | Rosario | Iguazú

28 de Sept al 2 de Oct

ORP FUNDACIÓN INTERNACIONAL

la segunda SEGUROS



Fundación Internacional **ORP** | Barcelona ISSN 2385-3832

Contenido

Mondelo, Pedro R.

Editorial – La Magia de las Relaciones Ocultas: Cómo los Datos de SST Transforman la Empresa 6

Asamè, Griselda

Gestión de seguridad, transformación organizacional y reducción de la siniestralidad laboral: el caso MIG S.A. 7

Berretta, Ceferino

Monitoreo del comportamiento de conductores mediante tecnología GPS e inteligencia artificial como estrategia preventiva en flotas corporativas 17

Berretta, Ceferino

Transformación de una aplicación móvil de reportes de seguridad para una gestión preventiva 24

Bracamonte Suncion, Gloria

Transformando la seguridad en talleres: realidad virtual para la prevención de accidentes en elevadores 30

Castaños Urkullu, Amaia

Seminarios impartidos por la Cátedra OSALAN UPV/EHU Medicina y Enfermería del Trabajo María Isabel Bilbao Bengoechea en grados de Medicina y Enfermería de la Universidad del País Vasco (2023-2026) y datos obtenidos 46

Chávez Guzmán, Eduardo

Impacto de la exposición al ruido en la pérdida auditiva de trabajadores de perforación en CIA Minera Poderosa (2025) 56

Enríquez García, José Ignacio

Inspecciones de puesto de trabajo con Ergo IA: impactos de su implementación 62

Ferrario, Pablo

Geomática aplicada a la seguridad operativa: implementación de un GIS corporativo en la distribución de gas natural 86

Gallego Galvis, Mauricio Andrés

Ecosistema ControlTAR: integración de inteligencia artificial operativa y analítica predictiva basada en machine learning para la mitigación de la accidentabilidad en Tareas de Alto Riesgo (TAR) 96

García Bercedo, Raúl

La acción sindical en la Universidad del País Vasco UPV/EHU como factor de prevención de riesgos y bienestar de los trabajadores 104

Gómez Arteaga, Carlos Andrés

Integración de higiene ocupacional, salud y ergonomía en la evaluación del riesgo biomecánico por vibración de cuerpo entero en conductores de equipos mezcladores del sector cementero 112

Gómez Yepes, Milena

Condiciones de trabajo de los agregados de los predios agropecuarios de una zona rural del departamento del Quindío, Colombia 130

Gómez Yepes, Milena

Más allá de la antropometría: sinergia entre los riesgos ergonómicos y salud mental en la práctica profesional del trabajo 145

González, Edwin Roberto

De LEGO® a Algoritmos: co-inteligencia y Algorithmic Business Thinking para estrategias vivas de SST y Gestión Ambiental 157

Herrera Castro, Liseth Edith

Impacto de una estrategia escalonada de transformación cultural en Seguridad y Salud en el Trabajo sobre los indicadores de resultado y la percepción de los colaboradores en Refinería de Cartagena S.A.S. 167

Londoño Cuartas, Alvaro

Programa para la prevención de la fatiga en el personal de la salud, Hospital Medellín 179

Macias Usuga, Daniel Alberto

Dos décadas de siniestralidad laboral en el sector agrícola colombiano, 2005-2025: análisis documental para fortalecer la gestión preventiva en Seguridad y Salud en el Trabajo. 185

Maciel, Nicolas

Reducción de la Siniestralidad en el Sector Cooperativo Agroindustrial: Un Modelo de Gestión Basado en Datos e Intervención Técnica 193

Mercado, Matias Jesus Marcelo

Transformación Cultural y Siniestralidad Cero: Liderazgo Participativo con la Generación Z en el Sector de Residuos Urbanos 210

Morales González, Gustavo

Estrategias interdisciplinarias para la prevención y la gestión integral de la salud laboral en empresas sin personal médico 214

Murcia Silva, Ivonne

Sostenibilidad en la prevención de eventos de alto impacto y su aporte a la excelencia ESG en operaciones Oil & Gas: factores críticos de éxito 221

Obregón Sánchez, María Guadalupe

INFLUENCIA DE LA CULTURA MEXICANA EN EL USO DEL EQUIPO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL 240

Paba Daza, Guillermo Alberto

Heroes of Life: A Comprehensive Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) Model to Reduce Occupational Injuries and Promote Organizational Well-being in a Multicampus University 247

Patiño Ortíz, Juan Camilo

Sistema Integral de Ventilación para la Reducción de Exposición a BTX en Alkhorayef Zona Franca S.A.S. 267

Prado Chicaiza, Héctor Fabian

Caracterización ergonómica de las condiciones de trabajo de los cultores de la modalidad de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos de San Juan de Pasto, Colombia 286

Puentes Arango, Ivan Mauricio

De la Reacción a la Anticipación: Integración de Precursores SIF y Gestión de Controles Críticos en Concesiones de Infraestructura de Alta Complejidad 298

Resende, Gabriel Quieroz Roraes

Integrating Occupational Safety and Sustainability in Construction Waste Management: A Multi-Criteria Decision Approach 305

Roa García, Laura Tatiana

Reducción de la accidentalidad laboral en empresas contratistas del sector cemento y concreto en Colombia (2016–2025): Un caso aplicado de innovación en cultura de seguridad, Planta Cemento Sogamoso. 321

Rozo, Jhony Andersson

Modelo integrado de salud ocupacional basado en fenotipos clínicos y en la estratificación multidisciplinaria del riesgo: evidencia de una cohorte ocupacional colombiana 334

Saavedra Robinson, Luis Andrés

Postural Risk Assessment in Agriculture using UAVs 352

Saleme Negrete, Bader Yudina

Estrategia de Sostenibilidad Multicampus y Gestión del Cambio Climático: El Camino hacia las Cero Emisiones Netas en la UPB 362

Sampaolesi, Julio

Transformación de la prevención laboral mediante inteligencia artificial: modelo predictivo basado en la teoría de los dos factores de Frederick Herzberg aplicado a una ART 372

Sánchez Alcendra, Flor Marina

Formate Mujer ISES: Inclusión femenina como estrategia innovadora para la gestión del riesgo público en el sector eléctrico colombiano 385

Vacas, Patricio

De la Simulación Inmersiva a la Cultura Preventiva: Analítica XR y Cambio Conductual. Caso de estudio en industria extractiva. 396

Vanegas Morales, Carlos Alberto / Tobón Bernal, Milena Mercedes

Innovar para cuidar: cuando la tecnología se pone al servicio del bienestar de las personas 404

Vargas Miño, Paola

Carga del ausentismo asociado a trastornos musculoesqueléticos y propuesta de un modelo de rehabilitación laboral en una empresa manufacturera de Ecuador 418

Editorial – La Magia de las Relaciones Ocultas: Cómo los Datos de SST Transforman la Empresa

Pedro R. Mondelo – Director **ORP**

La prevención de riesgos laborales es un tema crucial en cualquier empresa, pero ¿qué sucede cuando los datos que recopilamos SST, no los sabemos exprimir para que nos digan toda la verdad sobre prevención, productividad, calidad, sostenibilidad, operaciones…? La respuesta está en las relaciones ocultas que existen entre los datos, relaciones que pueden ser la clave para transformar la seguridad en el trabajo y por extensión la propia empresa.

En un mundo donde la información es poder, los datos de prevención de riesgos laborales son un tesoro que permanece escondido para la gran mayoría de las organizaciones. Debido a que muchos de estos datos se quedan sin un análisis profundo, sin explotar adecuadamente, sin revelar su verdadero potencial. Es como tener un diamante en bruto, sin pulir, sin brillar.

La verdad es que los datos de prevención de riesgos laborales no son solo números y estadísticas frías sobre incidentes, accidentes, cumplimientos legales y un largo etcétera de poco valor, son en esencia la clave para entender cómo funciona no solo la seguridad, si no la misma empresa en su conjunto. Al analizar estos datos de SST, y hacerles preguntas inteligentes podemos descubrir patrones, tendencias y relaciones ocultas que nos permiten identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas, fuente y origen de nuestro roadmap de estrategia empresarial.

Pero ¿cómo podemos descubrir estas relaciones ocultas? La respuesta está en la analítica de datos y la inteligencia artificial. Estas herramientas nos permiten analizar grandes cantidades de datos, identificar patrones y relaciones que no son visibles a simple vista. Al descubrir estas relaciones ocultas, podemos identificar los factores de riesgo más importantes, desarrollar estrategias de prevención más efectivas, mejorar la cultura de seguridad en la empresa, reducir los accidentes y enfermedades laborales… ¿Nada más?

Muchísimo más, el verdadero valor de los datos nos permite aumentar la productividad y la eficiencia de la organización y mantenernos en el área de empresa sostenible, ya que no sólo tendremos los datos prístinos objeto de análisis de la SST, si no que aparecerán datos que nos permitirán avanzar en la sostenibilidad económica por ahorro y eficiencia, en la sostenibilidad ambiental por reportes del ecosistema , y por supuesto la sostenibilidad social germen y objeto de toda organización.

En resumen, los datos de prevención de riesgos laborales son un recurso valioso que puede ser utilizado para transformar no solo la seguridad en el trabajo. Al descubrir las relaciones ocultas que existen entre estos datos, podemos tomar decisiones informadas y crear un entorno de trabajo más seguro, saludable y sostenible para todos.

La magia de las relaciones ocultas de los datos está en nuestras manos. ¿Qué esperamos para descubrirla?

Gestión de seguridad, transformación organizacional y reducción de la siniestralidad laboral: el caso MIG S.A.

Lic. Asamè Griselda

MIG S.A.

griselda.asame@mig-sa.com.ar

Abstract

El presente paper analiza la evolución del sistema de gestión de seguridad de MIG S.A. entre 2019 y 2025, a partir de un proceso de transformación organizacional iniciado tras un cambio gerencial y una auditoría externa que evidenció brechas críticas en la prevención de riesgos. El diagnóstico inicial reveló la ausencia de herramientas esenciales, como trazabilidad de hallazgos, investigación sistemática de accidentes, planificación preventiva, control de contratistas, seguimiento de máquinas y herramientas, objetivos de seguridad y articulación con la salud ocupacional. Frente a este escenario, la empresa inició una transición progresiva desde una gestión reactiva hacia un modelo preventivo, integral y transversal a todos los servicios.

Un dato relevante surge del comportamiento de la siniestralidad laboral: los accidentes de trabajo pasaron de 43 eventos en 2019 a 23 en 2024, evidenciando una reducción significativa en el periodo analizado. Esta baja permite asociar la evolución de los indicadores con la implementación progresiva de una gestión de seguridad más estructurada, basada en la identificación de peligros, la evaluación de riesgos, la planificación de controles, la capacitación específica por actividad, las recorridas preventivas, la trazabilidad de hallazgos y la investigación de accidentes. Asimismo, el período de pandemia representó un desafío singular para la gestión preventiva, dado que gran parte de los servicios de MIG S.A. se desarrollaban en hospitales, en un contexto de actividad esencial que exigió adaptar rápidamente protocolos de seguridad y salud.

El caso MIG S.A. invita a reflexionar sobre los desafíos culturales, educativos y organizacionales que condicionan la implementación real de la seguridad en empresas con servicios diversos, mandos medios heterogéneos y dependencias operativas externas. Este trabajo propone comprender la seguridad no sólo como cumplimiento normativo, sino como una construcción estratégica, cultural y sostenida en el tiempo.

Palabras Clave

Gestión de seguridad; prevención de riesgos laborales; cultura preventiva; reducción de siniestralidad; transformación organizacional.

1. Introducción

La gestión de seguridad y salud en el trabajo en MIG S.A. se desarrolla en una organización distribuida, con múltiples servicios, sedes y escenarios operativos. El caso comprende actividades de mantenimiento y maestranza en hospitales, grandes proyectos, intervenciones edilicias y mantenimiento en aproximadamente 200 escuelas. Esta amplitud operativa implica riesgos variables, equipos de trabajo heterogéneos, distintos niveles de supervisión y una alta necesidad de articulación entre seguridad, operación y salud ocupacional.

En este contexto, la prevención requiere superar una lógica meramente documental. La gestión efectiva demanda presencia en campo, planificación previa de tareas, verificación de barreras, participación operativa y seguimiento de resultados. El desafío central consiste en transformar la información relevada en recorridas, AST, hallazgos e investigaciones de eventos en decisiones preventivas concretas, trazables y verificables por sitio, servicio, tarea y responsable.

La transformación preventiva analizada se inició a partir de un cambio gerencial y de una auditoría externa que evidenció brechas críticas en la gestión de riesgos. El diagnóstico inicial mostró registros dispersos, criterios heterogéneos y debilidades en herramientas clave: trazabilidad de hallazgos, investigación sistemática de accidentes, planificación preventiva, objetivos de seguridad y salud en el trabajo, control de contratistas, seguimiento de máquinas y herramientas, y articulación con salud ocupacional.

A partir de ese punto de partida, la organización avanzó desde una gestión predominantemente reactiva hacia un modelo preventivo, integral y transversal. Este proceso incorporó objetivos, AST, hallazgos, capacitación por criterios, recorridas preventivas, investigación de eventos y seguimiento de indicadores. La experiencia se interpreta como una evolución hacia un sistema de gestión basado en planificación, implementación, verificación y revisión periódica, en línea con los principios de ILO-OSH 2001 e ISO 45001:2018 (International Labour Organization [ILO], 2001; International Organization for Standardization [ISO], 2018b).

Un aspecto diferencial del caso fue el contexto humano en el que se implementó la transformación. La gestión debió contemplar equipos con trayectorias formativas diversas y, en algunos casos, baja alfabetización funcional, dificultades de comprensión lectora y contextos socioeconómicos vulnerables. Esto exigió adaptar la comunicación preventiva, ya que los procedimientos escritos o las capacitaciones formales no siempre garantizaban comprensión real del riesgo.

Por ello, la estrategia combinó rigor técnico con lenguaje simple, recursos visuales, explicación directa en campo y verificación de comprensión. La seguridad se construyó desde la tarea concreta, acompañando al personal en la identificación de peligros, el análisis de riesgos y la definición de barreras aplicables. En este enfoque, la observación en campo se utilizó como herramienta de aprendizaje y mejora, no como mecanismo de búsqueda de culpables, en coherencia con enfoques de cultura preventiva, aprendizaje organizacional y gestión del error (Cooper, 2000; Reason, 1997).

La pregunta que orienta este trabajo es: ¿en qué medida la implementación progresiva de un sistema basado en indicadores adelantados y de resultado se asocia con la reducción de la siniestralidad laboral y la severidad de los eventos?

Criterio temporal: 2019 se toma como línea base operativa real; 2020 y 2021 se excluyen por el contexto excepcional de pandemia; 2026 se excluye por tratarse de información parcial no anualizada.

Alcance, historia y diagnóstico inicial

La experiencia se desarrolló sobre una dotación relativamente estable de 315 a 320 personas, distribuidas en servicios con niveles de exposición variables según tarea, sitio y modalidad operativa. El alcance incluyó maestranza y mantenimiento en hospitales, grandes proyectos, intervenciones edilicias y mantenimiento en aproximadamente 200 escuelas. También comprendió el control de contratistas, el seguimiento de máquinas y herramientas, y la verificación de condiciones del entorno de trabajo.

El diagnóstico inicial mostró una gestión preventiva con información fragmentada y criterios de registro no homogéneos. Las principales brechas se relacionaban con la trazabilidad de

hallazgos, la investigación sistemática de eventos, la planificación preventiva, el seguimiento de objetivos de SST, el control documental y operativo de contratistas, y la articulación con salud ocupacional.

Frente a este escenario, el primer aporte fue ordenar la gestión mediante criterios comunes aplicables a servicios muy diferentes entre sí. Esto permitió pasar de registros aislados a información organizada por sitio, servicio, tarea y responsable, favoreciendo una lectura más clara de los desvíos, las prioridades y las acciones requeridas.

La intervención también exigió adaptar la forma de llegada al personal. No alcanzaba con disponer de procedimientos o registros formales: era necesario traducir los criterios preventivos a situaciones concretas de trabajo, con explicaciones simples, acompañamiento operativo y verificación de comprensión. Este punto resultó especialmente relevante por la diversidad de trayectorias formativas presentes en los equipos.

En ese marco, las herramientas de gestión —AST, observaciones, hallazgos e investigaciones— comenzaron a utilizarse no solo como evidencia documental, sino como instancias de intercambio, análisis y aprendizaje. Su valor estuvo en permitir que trabajadores, mandos medios, operación, seguridad y salud ocupacional pudieran reconocer peligros reales, revisar prácticas habituales y acordar barreras preventivas aplicables al trabajo cotidiano.

Marco conceptual y planteo inicial

El trabajo se enmarca en la lógica de los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, entendidos como procesos dinámicos que requieren planificación, implementación, evaluación del desempeño y mejora continua. Desde esta perspectiva, la prevención no se limita a acciones puntuales, sino que se organiza como un ciclo de gestión capaz de generar información, verificar resultados y retroalimentar decisiones (ILO, 2001; ISO, 2018b).

Dentro de este enfoque, los AST, los hallazgos propios y el Plan Anual de Capacitación por criterios fueron considerados indicadores adelantados, en tanto permiten identificar condiciones, conductas o brechas antes de la ocurrencia del daño. En cambio, la siniestralidad, los días perdidos, la tasa de frecuencia y la tasa de gravedad fueron utilizados como indicadores de resultado, ya que reflejan consecuencias ya materializadas. La combinación de ambos tipos de indicadores permite una lectura más completa del desempeño preventivo, en línea con enfoques de medición que integran gestión, exposición y resultados (Health and Safety Executive [HSE], 2001; Hinze et al., 2013; Robson et al., 2007).

El planteo inicial o hipótesis del trabajo fue que una mejora sostenida del sistema preventivo requería fortalecer la comprensión operativa del riesgo. Para ello, no alcanzaba con disponer de procedimientos, registros o capacitaciones formales; era necesario lograr que los equipos pudieran reconocer peligros en su propia tarea, analizar sus riesgos y definir barreras preventivas aplicables antes de ejecutar el trabajo.

En función de ese planteo, la estrategia buscó acercar la prevención al lenguaje cotidiano de la operación. Esto implicó simplificar la comunicación técnica, trabajar directamente en rondas y tareas, promover el cuestionamiento de prácticas habituales y construir condiciones de confianza para que los desvíos pudieran ser identificados sin ser interpretados como búsqueda de sanción. Asimismo, la investigación de eventos se orientó como instancia de aprendizaje preventivo y correctivo, fortaleciendo la idea de que la seguridad debía dejar de percibirse como un control externo para integrarse progresivamente como parte natural del trabajo diario.

Objetivos

Objetivo general

Analizar la evolución del sistema de gestión preventiva de MIG S.A. entre 2019 y 2025, evaluando su relación con la reducción de la siniestralidad laboral, los días perdidos, la tasa de frecuencia y la tasa de gravedad.

Objetivos específicos

• Comparar accidentes CPD/SPD, días perdidos, tasa de frecuencia, tasa de incidencia y tasa de gravedad respecto de 2019.

• Describir la consolidación de indicadores adelantados: AST, hallazgos propios, PAC y Plan de Objetivos.

• Analizar el ausentismo por TME como indicador preventivo complementario, focalizando patologías y sitios prioritarios.

• Identificar recomendaciones prácticas para sostener la mejora preventiva en ciclos posteriores.

2. Metodología

Se realizó un estudio de caso longitudinal, descriptivo y retrospectivo, basado en registros internos de gestión preventiva de MIG S.A. La estrategia metodológica fue descriptiva, sin aplicación de pruebas inferenciales, debido a que el objetivo fue reconstruir la evolución de indicadores de gestión y resultado en un sistema preventivo real. La interpretación metodológica se apoyó en marcos reconocidos de sistemas de gestión, gestión del riesgo, indicadores adelantados y ergonomía, principalmente ISO 45001, ILO-OSH 2001, ISO 31000, HSE, REBA, NIOSH e ISO 11228.

Elemento	Criterio aplicado
Diseño	Estudio de caso longitudinal, descriptivo y retrospectivo
Ámbito	Registros internos de gestión preventiva de MIG S.A.
Período	2019 como base; 2022-2025 como etapa pospandemia
Exclusiones	2020-2021 por pandemia; 2026 por parcialidad
Análisis	Descriptivo: frecuencias, porcentajes y variación vs 2019
Ética	Datos agregados; sin exposición de datos personales

Fuentes documentales utilizadas: evolución de siniestralidad y gestión preventiva hasta 2025; informe integrado MIG S.A. 2021-2025; AST 2023-2024 y AST 2025; Métricas de hallazgos propios 2022-2025; Plan Anual de Capacitación 2023-2025; Ausentismo por enfermedad y TME 2023-2025. La dotación se mantuvo relativamente estable durante el período analizado, entre 315 y 320 personas.

Fundamentación metodológica de las herramientas utilizadas

Para mejorar la trazabilidad académica del trabajo, las herramientas internas fueron vinculadas con marcos técnicos reconocidos. Estas fuentes no reemplazan los registros internos de MIG S.A., sino que fundamentan el modo en que se interpretan los indicadores, la identificación de peligros, la gestión del riesgo, la ergonomía y la mejora continua.

Eje del método	Fuente / parte utilizada como referencia	Aplicación dentro del paper
Sistema de gestión preventiva y mejora continua	ISO 45001:2018, capítulos 4, 6, 8, 9 y 10; ILO-OSH 2001, secciones 3.2, 3.4, 3.11, 3.12 y 3.16.	Sostiene la lectura del sistema como ciclo integrado: contexto, planificación, operación, evaluación del desempeño, investigación, participación, capacitación y mejora continua.
Identificación de peligros, análisis de riesgos y barreras	ISO 45001:2018, cláusulas 6.1.2.1, 6.1.2.2, 8.1.1 y 8.1.2; ISO 31000:2018, capítulo 6; OSHA 3071, Job Hazard Analysis.	ISO 45001 no exige AST como formato específico; establece identificar peligros, evaluar riesgos, planificar controles y reducir riesgos SST. El AST se usó internamente para operacionalizar esos requisitos en campo: alcance, peligros, riesgos, barreras y controles antes de ejecutar.
Indicadores adelantados y de resultado	HSE (2001), Hinze et al. (2013) y Podgórski (2015).	Respalda la combinación de AST, hallazgos y PAC como indicadores adelantados, junto con accidentes, días perdidos, TF y TG como indicadores de resultado.
Cultura preventiva y aprendizaje organizacional	Reason (1997), Cooper (2000) y Geller (2001).	Aporta marco para interpretar el cambio cultural: observación en campo, confianza operativa, comunicación simple, aprendizaje y disminución de la búsqueda de culpables.
Ergonomía y TME	REBA: Hignett y McAtamney (2000); NIOSH (1994); Waters et al. (1993); ISO 11228-1, 11228-2 y 11228-3.	Orienta la lectura preventiva de lumbalgia, hombro/manguito rotador, epicondilitis y otros TME vinculados con postura, carga, empuje, arrastre, repetitividad y fuerza de agarre.

Nota metodológica: las fuentes externas se incorporan como marco de referencia para fundamentar las metodologías de gestión aplicadas. Cuando se mencionan REBA, NIOSH o ISO 11228, se los toma como criterios técnicos orientadores para el análisis ergonómico preventivo.

Definición operativa de indicadores

Indicador	Definición utilizada en el análisis	Uso preventivo
AST válido	Tarea definida, peligros identificados y barreras preventivas establecidas de forma suficiente.	Verificar planificación antes de ejecutar.
AST no válido / insuficiente	Registro con tarea, peligro o barrera mal definida. Se usa como oportunidad de interacción en ronda.	Docencia operativa y refuerzo cuerpo a cuerpo.
Hallazgo positivo	Tarea observada con EPP, AST, procedimiento, orden, herramientas y residuos en condiciones; personal conoce el alcance.	Evidenciar buenas prácticas y cultura preventiva.
Cumplimiento PAC	Cobertura de capacitaciones por criterio de puesto y agente de riesgo, no solo por horas dictadas.	Evitar brechas críticas por exposición real.
TME depurado	TME bruto menos exclusiones por preexistencias, cirugías, accidentes o baja correspondencia con exposición.	Orientar ergonomía por sitio, tarea y patología.

Nota metodológica: el criterio de hallazgo positivo no significa ausencia de riesgo, sino condición observada aceptable según los puntos evaluados en la ronda de seguridad. El marco metodológico de indicadores se vincula con HSE (2001), Robson et al. (2007) e Hinze et al. (2013).

3. Resultados y discusión de resultados

Plan de Objetivos y siniestralidad

El Plan de Objetivos muestra una evolución desde una medición global del área hacia una trazabilidad por sitio. Esta transición permitió ampliar la capacidad de seguimiento, asignar responsables y establecer estados de avance con mayor granularidad.

Año	Alcance	Resultado
2023	Global área	20 objetivos: 11 verdes, 6 amarillos, 3 rojos
2024	Global / F150	21 objetivos: 17 verdes, 4 amarillos, 0 rojos
2025	Por sitio	120 registros: 83 OK, 19 parciales, 18 no logrados/demorados

En siniestralidad, la comparación 2025 contra 2019 muestra una reducción de 32,6% en accidentes CPD/SPD, 76,9% en días perdidos, 33,6% en tasa de frecuencia y 77,6% en tasa de gravedad. La base 2019 fue de 43 accidentes, 1.431 días perdidos, TF 46,75 y TG 1,56. En 2025 se registraron 29 accidentes, 331 días perdidos, TF 31,04 y TG 0,35.

AST como indicador adelantado

El AST se consolidó como herramienta de planificación preventiva. En 2025 se registraron 3.380 AST válidos, de los cuales 1.957 correspondieron a tareas rutinarias o habituales y 1.423 a tareas no rutinarias o críticas.

El crecimiento respecto de 2024 evidencia mayor instalación del análisis previo de tareas. El indicador funciona como herramienta para anticipar peligros, definir barreras y verificar EPP, herramientas, entorno, interferencias y necesidad de PTS. No obstante, el volumen por sí solo no asegura eficacia: las tareas no rutinarias deben describirse correctamente, con peligros específicos y barreras verificadas antes del inicio. Como referencia metodológica para el análisis de tareas y el control operacional se consideran ISO 45001:2018 (ISO, 2018b), ISO 31000:2018 (ISO, 2018a) y OSHA 3071 (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2002). Estas referencias no exigen el AST como formato específico; aportan el marco para identificar peligros, evaluar riesgos, planificar controles operacionales y eliminar o reducir riesgos de SST. En este trabajo, el AST se utilizó como herramienta interna para llevar esos principios al campo antes de ejecutar la tarea.

Hallazgos propios: madurez de detección, clasificación y cierre

El capítulo de hallazgos propios constituye una de las fortalezas centrales del caso. El cambio de composición es tan relevante como el volumen registrado: el sistema dejó de utilizarse solo para detectar desvíos y comenzó a evidenciar condiciones aceptables, buenas prácticas y apropiación del sistema por parte de los equipos.

Indicador	Valor
Hallazgos 2022	906
Hallazgos 2025	766
Hallazgos positivos 2025	72,5%
Gestión 2025: resueltos/inmediatos	97,8%

Los hallazgos positivos pasan de 29,1% en 2022 a 72,5% en 2025, mostrando mayor capacidad de capturar condiciones aceptables y buenas prácticas, además de desvíos. Esta evolución es

compatible con una mayor madurez preventiva y con una apropiación más profunda de la herramienta por parte de los equipos.

Año	Lectura preventiva
2022	Entrenar el ojo crítico y ordenar registros.
2023	Depurar criterio y focalizar desvíos.
2024	Recuperar captura y registrar condiciones aceptables.
2025	Consolidar buenas prácticas y cierre trazable.

Foco 2025	Valor
EPP	225
Lugar de trabajo / entorno	221
Procedimientos / planificación	103

Para evitar cierres meramente administrativos, los focos residuales en EPP, entorno, procedimientos y herramientas deben mantenerse con responsable, fecha de cierre, evidencia y verificación de eficacia.

Plan Anual de Capacitación

La capacitación evolucionó desde un enfoque centrado en horas registradas hacia un enfoque por cumplimiento de criterios. El objetivo fue asegurar cobertura mínima según puesto, exposición y agentes de riesgo, y no solo aumentar horas dictadas.

Año	Cumplimiento por criterios
2023	79,35%
2024	93,20%
2025	92,68%

La reducción de horas no se interpreta como menor gestión cuando el cumplimiento por criterios se sostiene por encima del 92% en 2024 y 2025. El foco pasa a ser cobertura por puesto, sitio, servicio y exposición.

Ausentismo por TME

El TME se incorpora como indicador preventivo complementario para orientar ergonomía. La lectura se realiza sobre TME depurado para evitar distorsiones por preexistencias, cirugías, accidentes o baja correspondencia con exposición laboral.

Año	Días TME depurado	% TME
2023	369	15,2%
2024	378	15,4%
2025	300	14,8%

La lectura indica que 2025 baja a 300 días y 14,8%; por lo tanto, ya no es el pico relativo. El mayor peso relativo queda en 2024 con 15,4%, seguido de 2023 con 15,2%. Las patologías prioritarias son lumbalgia como foco estructural del período, hombro/manguito rotador como relevante desde 2024 y codo/epicondilitis como foco específico de 2025.

El marco ergonómico de referencia incluye criterios REBA para carga postural y NIOSH para manipulación manual de cargas (Hignett & McAtamney, 2000; National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 1994; Waters et al., 1993).

Discusión integrada

La mejora no se explica por un único indicador: funciona como sistema. La evidencia más fuerte de mejora se observa en la reducción de días perdidos y tasa de gravedad, lo que refleja mayor control de consecuencias. Aunque la frecuencia presenta oscilaciones, la integración de AST, hallazgos, PAC por criterios y TME depurado permite pasar de una lectura reactiva a un ciclo preventivo: anticipar peligros, definir barreras, intervenir y verificar resultados.

El crecimiento de AST en 2025 muestra instalación de la herramienta, pero exige fortalecer la calidad en tareas no rutinarias y barreras verificables. Los hallazgos positivos sugieren mayor apropiación de buenas prácticas, manteniendo foco en EPP, entorno, procedimientos y herramientas. El TME depurado complementa la siniestralidad y orienta acciones ergonómicas por sitio, puesto y exposición real.

Etapa	Herramienta / indicador	Sentido preventivo
Planificar	Objetivos y prioridades	Definir metas, responsables y criterios de seguimiento.
Anticipar	AST y barreras	Identificar peligros antes de la ejecución.
Detectar	Hallazgos en campo	Reconocer desvíos y buenas prácticas.
Intervenir	PAC y ergonomía	Cerrar brechas de competencia y exposición.
Verificar	IF/TG/DP/TME	Controlar resultados y retroalimentar decisiones.

Desde una mirada conceptual, los AST, hallazgos y PAC anticipan exposición y permiten intervenir antes del evento; por eso son útiles para gestionar riesgo y no solo para describir resultados pasados. El aumento de hallazgos positivos es compatible con una mayor apropiación del sistema, porque visibiliza condiciones seguras, conversaciones en campo y reconocimiento de buenas prácticas.

La lógica integrada permite revisar datos, definir responsables, ejecutar acciones, verificar eficacia y retroalimentar objetivos. Esto alinea la experiencia con modelos de gestión sistemática y mejora continua. El trabajo de campo exigió adaptar el mensaje preventivo a perfiles diversos; el valor metodológico está en transformar conceptos técnicos en decisiones operativas comprensibles. Los resultados sugieren una asociación entre el sistema implementado y la mejora observada, sin afirmar causalidad estadística directa por tratarse de un estudio descriptivo basado en registros internos.

Limitaciones

Limitación	Implicancia para la lectura
Registros internos	Permiten trazabilidad de gestión, pero no equivalen a un estudio experimental.
Análisis descriptivo	No permite establecer causalidad estadística directa entre herramientas y reducción de siniestralidad.
Exclusión 2020-2021	Mejora la comparabilidad operativa, pero reduce continuidad temporal de la serie.
Cambios de dotación / exposición	Pueden incidir en las variaciones observadas.
2026 excluido	La información parcial no se usa como evidencia comparativa anual.

Estas limitaciones no invalidan la lectura del caso; delimitan su alcance como experiencia aplicada de gestión preventiva basada en datos internos.

4. Conclusiones

El caso MIG S.A. evidencia una transformación del sistema preventivo desde registros operativos dispersos hacia un modelo integrado con objetivos, indicadores, trazabilidad y verificación de acciones.

Los resultados muestran una evolución favorable respecto de 2019: reducción de 32,6% en accidentes, 76,9% en días perdidos, 33,6% en tasa de frecuencia y 77,6% en tasa de gravedad. La formulación metodológica adecuada es que los resultados sugieren una asociación con la mejora observada, sin afirmar causalidad estadística directa.

El aporte principal del caso se encuentra en haber gestionado la seguridad como un sistema vivo y en revisión permanente: con datos actualizados, indicadores periódicos, responsables definidos, acciones trazables y verificación en campo. En MIG S.A., la integración de objetivos, AST, hallazgos, capacitación, investigación de eventos, salud ocupacional y seguimiento de resultados permitió convertir cada desvío, observación o indicador en una oportunidad de aprendizaje organizacional, mejora continua y fortalecimiento de la cultura preventiva.

Relación entre bibliografía y metodología aplicada

Las referencias externas se incorporan para justificar el encuadre metodológico de las herramientas utilizadas: ISO 45001 e ILO-OSH 2001 para el sistema de gestión y mejora continua; ISO 31000 y OSHA 3071 para identificación de peligros, análisis de riesgos y definición de barreras; HSE, Hinze et al. y Podgórski para indicadores adelantados y de resultado; Reason, Cooper y Geller para cultura preventiva; y REBA, NIOSH e ISO 11228 para el enfoque ergonómico asociado al análisis de TME.

Bibliografía

Nota: las referencias externas se incorporan como marco conceptual y metodológico; los datos estadísticos del caso se basan únicamente en registros internos aportados por MIG S.A.

Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. Safety Science, 36(2), 111–136. https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00035-7

Geller, E. S. (2001). The psychology of safety handbook. CRC Press.

Health and Safety Executive. (2001). A guide to measuring health and safety performance.

Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31(2), 201–205. https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3

Hinze, J., Thurman, S., & Wehle, A. (2013). Leading indicators of construction safety performance. Safety Science, 51(1), 23–28. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.05.016

International Labour Organization. (2001). Guidelines on occupational safety and health management systems: ILO-OSH 2001.

International Organization for Standardization. (2007a). Ergonomics — Manual handling — Part 2: Pushing and pulling (ISO Standard No. 11228-2:2007).

International Organization for Standardization. (2007b). Ergonomics — Manual handling — Part 3: Handling of low loads at high frequency (ISO Standard No. 11228-3:2007).

International Organization for Standardization. (2018a). Risk management — Guidelines (ISO Standard No. 31000:2018).

International Organization for Standardization. (2018b). Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use (ISO Standard No. 45001:2018).

International Organization for Standardization. (2021). Ergonomics — Manual handling — Part 1: Lifting, lowering and carrying (ISO Standard No. 11228-1:2021).

MIG S.A. (2024). AST 2024 y año 2023 [Documento interno].

MIG S.A. (2025a). AST 2025: panel de control [Documento interno].

MIG S.A. (2025b). Evolución de la siniestralidad: análisis de tendencia, gestión preventiva y planes de acción [Documento interno].

MIG S.A. (2025c). Informe final integrado: evolución del Plan de Objetivos de Seguridad y Gestión Preventiva, período 2021–2025 [Documento interno].

MIG S.A. (2025d). Métricas de Hallazgos Propios 2022–2025 [Documento interno].

MIG S.A. (2025e). Plan Anual de Capacitación: informe de avance y evolución 2023–2025 [Documento interno].

MIG S.A. (2026). Informe estadístico de ausentismo por enfermedad y TME 2023–2026, [Documento interno].

National Institute for Occupational Safety and Health. (1994). Applications manual for the revised NIOSH lifting equation (DHHS/NIOSH Publication No. 94-110). U.S. Department of Health and Human Services.

Occupational Safety and Health Administration. (2002). Job hazard analysis (OSHA Publication No. 3071, Revised 2002). U.S. Department of Labor.

Podgórski, D. (2015). Measuring operational performance of OSH management system: A demonstration of AHP-based selection of leading key performance indicators. Safety Science, 73, 146–166. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.11.018

Reason, J. (1997). Managing the risks of organizational accidents. Ashgate.

Robson, L. S., Clarke, J. A., Cullen, K., Bielecky, A., Severin, C., Bigelow, P. L., Irvin, E., Culyer, A., & Mahood, Q. (2007). The effectiveness of occupational health and safety management system interventions: A systematic review. Safety Science, 45(3), 329–353. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2006.07.003

Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. Ergonomics, 36(7), 749–776. https://doi.org/10.1080/00140139308967940

Monitoreo del comportamiento de conductores mediante tecnología GPS e inteligencia artificial como estrategia preventiva en flotas corporativas

Ceferino Berretta

Litoral Gas S.A.

ceferino.berretta@litoralgas.com.ar

Abstract

Antecedentes: En organizaciones cuya actividad principal se asocia a riesgos industriales críticos, como la manipulación de gas natural, los riesgos viales suelen subestimarse a pesar de su elevado impacto potencial. La siniestralidad vial en Argentina continúa siendo significativa, lo que adquiere especial relevancia para empresas con flotas vehiculares extensas. Litoral Gas S.A. gestiona una flota aproximada de 180 vehículos que recorren alrededor de 2,5 millones de kilómetros anuales, configurando un escenario de alta exposición a accidentes de tránsito.

Objetivo: Describir la implementación de un sistema de monitoreo vehicular basado en tecnología GPS e inteligencia artificial, orientado a evaluar el comportamiento de conducción y reducir la siniestralidad vial en una flota corporativa.

Método: Se implementó un sistema de monitoreo vehicular mediante dispositivos GPS equipados con acelerómetros y giroscopios, capaces de registrar variables dinámicas de conducción. Los conductores se identifican mediante un PIN personal, permitiendo la trazabilidad individual. A partir de los datos recopilados —distancia recorrida, excesos de velocidad, aceleraciones, frenadas y giros bruscos— se genera un sistema de scoring que evalúa el desempeño. El software incorpora algoritmos de inteligencia artificial para la detección de velocidades máximas por tramo, incluso bajo criterios más restrictivos que la normativa vigente.

Resultados: El sistema permitió identificar patrones de conducción, establecer rankings de desempeño y focalizar intervenciones preventivas. La combinación de reconocimientos al buen desempeño y acciones correctivas dirigidas se asoció con una reducción de los índices de siniestralidad vial de la compañía.

Conclusión: La gestión del riesgo vial basada en datos objetivos y herramientas de inteligencia artificial constituye una estrategia eficaz para modificar conductas, reducir accidentes y fortalecer enfoque preventivo.

Palabras Clave

seguridad vial laboral; monitoreo vehicular; inteligencia artificial; GPS; comportamiento del conductor.

1. Introducción

Los accidentes de tránsito relacionados constituyen una de las principales causas de muerte y lesiones graves a nivel mundial. En organizaciones cuya actividad depende del desplazamiento permanente de vehículos, la gestión del riesgo vial representa un desafío estratégico tanto para la protección de las personas, tanto propias como de terceros, como para la continuidad operativa. Litoral Gas presenta un nivel particularmente elevado de exposición debido a la necesidad de realizar actividades de mantenimiento, inspección, atención de emergencias, operaciones comerciales y distribución durante las veinticuatro horas del día en una gran zona de extensión geográfica que comprende la pcia de Santa Fe y Noreste de la pcia de Bs As. Opera una flota compuesta por aproximadamente 180 vehículos, que recorren alrededor de 2,5 millones de kilómetros por año, constituyendo uno de los riesgos laborales con mayor potencial de generar lesiones graves o fatales, incluso, afectar la reputación de la empresa. Históricamente, la gestión del riesgo vial estuvo basada en capacitaciones, investigación de accidentes y controles administrativos. Aunque estas herramientas continúan siendo indispensables, presentan limitaciones para identificar precozmente conductas inseguras y actuar antes de la ocurrencia de un siniestro. La evolución de la telemática vehicular y de la inteligencia artificial permitió comenzar a medir objetivamente el comportamiento de conducción mediante el análisis continuo de variables dinámicas registradas en tiempo real. Sin embargo, la evidencia demuestra que la sola incorporación de tecnología no garantiza una mejora sostenida de los indicadores de seguridad. El verdadero desafío consiste en

convertir la información generada por estos sistemas en decisiones preventivas que permitan modificar conductas. En este contexto, Litoral Gas desarrolló un modelo propio de gestión preventiva que integra telemática, inteligencia artificial, análisis de datos y liderazgo operativo, orientado a transformar información objetiva en acciones preventivas sistemáticas. El presente trabajo describe la implementación de dicho modelo y analiza su impacto sobre la evolución de la siniestralidad vial corporativa durante el período 2020–2026.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar el impacto de un modelo integral de gestión preventiva basado en telemática e inteligencia artificial sobre la seguridad vial de una flota corporativa perteneciente a una empresa distribuidora de gas natural.

Objetivos específicos

- Analizar la evolución histórica del Índice de Siniestralidad Vial (ISV) entre 2020 y 2026.
- Describir el proceso de implementación del modelo de gestión preventiva.
- Evaluar el desempeño de conducción mediante un sistema de scoring.
- Caracterizar la distribución del riesgo entre los conductores.
- Identificar oportunidades de intervención preventiva basadas en datos objetivos.

2. Metodología

Diseño del estudio

Se realizó un estudio observacional, descriptivo y retrospectivo basado en el análisis de indicadores de seguridad vial correspondientes al período comprendido entre 2020 y 2026. El estudio integró información proveniente de los registros históricos de siniestralidad de la organización y de los sistemas de telemetría implementados progresivamente durante dicho período.

Organización

El estudio se desarrolló en Litoral Gas S.A., empresa distribuidora de gas natural que opera en la provincia de Santa Fe y noreste de la provincia de Buenos Aires. La organización posee aproximadamente:

• 435 trabajadores.

• 180 vehículos.

• 2,5 millones de kilómetros recorridos anualmente.

• 250 conductores

Sistema de monitoreo

Desde 2023, cada vehículo dispone de un dispositivo telemático equipado con:

• GPS.

• Acelerómetros.

• Giroscopios.

• Identificación individual del conductor mediante PIN.

El sistema registra automáticamente los eventos de conducción durante toda la operación.

Variables analizadas

Se analizaron las siguientes variables:

• kilómetros recorridos;

• excesos de velocidad;

• aceleraciones bruscas;

• frenadas bruscas;

• giros bruscos;

• scoring individual;

• Índice de Siniestralidad Vial.

Evolución del modelo de gestión preventiva

La implementación del modelo fue progresiva y puede dividirse en tres etapas.

Etapa I – Telemetría para control operativo (2020–2022)

Durante este período la organización utilizó un sistema de telemetría destinado exclusivamente a la localización de vehículos y optimización logística. La información disponible no permitía evaluar el comportamiento de conducción ni generar indicadores preventivos. La gestión del riesgo vial se sustentaba principalmente en capacitaciones, investigación de accidentes y controles tradicionales.

Etapa II – Incorporación de telemática inteligente (2023)

En 2023 se implementó una nueva plataforma capaz de registrar variables dinámicas de conducción y generar un scoring individual mediante algoritmos de inteligencia artificial. Esta etapa estuvo orientada principalmente a la implementación tecnológica, validación de la calidad de los datos y caracterización del perfil de riesgo de la flota.

Etapa III – Gestión preventiva basada en datos (2024–2026)

A partir de 2024 comenzó la utilización sistemática de la información obtenida mediante telemática para la gestión preventiva.

El modelo incorporó:

• dashboards en Power BI;

• seguimiento mensual del scoring;

• identificación de conductores críticos;

• reuniones de retroalimentación;

• planes de mejora;

• reconocimiento del buen desempeño;

• monitoreo continuo de indicadores.

La tecnología pasó de ser un sistema de registro a convertirse en una herramienta para la toma de decisiones preventivas.



Figura 1. Tablero de seguimiento

Modelo de intervención preventiva

El modelo implementado comprende seis etapas:

1. Captura automática de datos.

2. Procesamiento mediante inteligencia artificial.

3. Generación automática del scoring.

4. Visualización mediante dashboards.

5. Intervención preventiva sobre conductores.

6. Seguimiento y mejora continua.

3. Resultados y discusión de resultados

Desempeño de conducción

El análisis comprendió la evolución histórica del Índice de Siniestralidad Vial (ISV) durante el período 2020–2026, en una flota corporativa integrada por más de 250 conductores, que recorren aproximadamente 2,5 millones de kilómetros por año en el desarrollo de actividades operativas, comerciales, de mantenimiento de redes y atención de emergencias. A partir de 2023, con la incorporación de un nuevo sistema de telemática inteligente, fue posible complementar el análisis histórico de la siniestralidad con indicadores objetivos del comportamiento de conducción, obtenidos mediante un sistema de scoring individual basado en variables dinámicas registradas en tiempo real.

Evolución histórica del Índice de Siniestralidad Vial

El análisis histórico permitió identificar un cambio de tendencia asociado a la evolución del modelo preventivo.

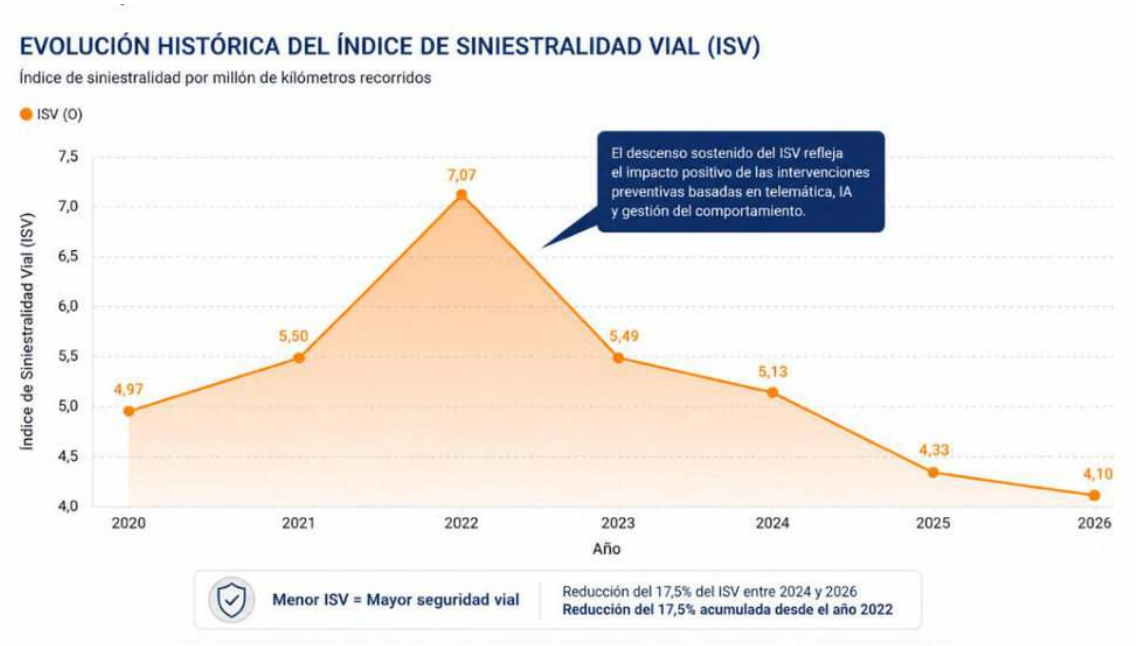


*Figura 2. Evolución del indicador de seguridad vial (ISV=CANTIDAD DE SINIESTROS/KM REORRIDOS*1.000.000)*

Durante el período 2020–2023, caracterizado por la utilización de la telemetría con fines operativos y la etapa inicial de implementación tecnológica, el ISV presentó valores elevados y fluctuantes. A partir de 2024, coincidiendo con la utilización sistemática del scoring y la implementación del modelo de gestión preventiva basado en datos, comenzó a observarse un descenso sostenido del indicador. En comparación con el valor máximo registrado en 2022, el

ISV disminuyó aproximadamente un 42 % al finalizar el período analizado. Asimismo, respecto del promedio observado entre 2020 y 2023, la reducción alcanzó aproximadamente el 25 %.

Identificación de conductores con mayor exposición

El análisis individual del scoring permitió identificar un grupo reducido de conductores con reiteración de eventos asociados a excesos de velocidad, frenadas bruscas y aceleraciones intempestivas. Esta información posibilitó orientar acciones preventivas específicas, optimizando la asignación de recursos y permitiendo realizar un seguimiento individual de la evolución de cada conductor. En paralelo, los conductores con desempeños sostenidos fueron incorporados a programas de reconocimiento interno, favoreciendo el fortalecimiento de la cultura de seguridad vial.

Discusión

Los resultados obtenidos muestran que la incorporación de telemática e inteligencia artificial genera un mayor impacto cuando forma parte de un modelo integral de gestión y no como una herramienta tecnológica aislada. El principal aporte del modelo desarrollado no radica únicamente en la capacidad de registrar eventos de conducción, sino en la utilización sistemática de dicha información para apoyar la toma de decisiones preventivas. La disponibilidad de indicadores objetivos permitió identificar patrones de comportamiento, priorizar intervenciones, optimizar recursos preventivos y fortalecer el liderazgo de los supervisores mediante información confiable y actualizada. La reducción sostenida del Índice de Siniestralidad Vial observada durante los últimos años resulta consistente con la implementación progresiva del modelo de gestión basado en datos. No obstante, debido al carácter observacional del estudio, no es posible establecer

una relación causal directa entre la implementación del sistema y la disminución de la siniestralidad, ya que otros factores —como la capacitación, la maduración de la cultura organizacional o cambios en la gestión— también podrían haber contribuido a los resultados obtenidos. Sin embargo, la coincidencia temporal entre la consolidación del modelo preventivo y la mejora sostenida de los indicadores respalda la hipótesis de que la utilización sistemática del scoring como herramienta de gestión constituye un elemento relevante para fortalecer la seguridad vial corporativa.

Limitaciones

Entre las principales limitaciones del estudio se identifican:

- desarrollo en una única organización;
- utilización de un sistema de telemetría de un tercero con poca flexibilidad;
- posible influencia de factores organizacionales no analizados;
- Errores propios del sistema

4. Conclusiones

La experiencia desarrollada en Litoral Gas demuestra que la telemática y la inteligencia artificial alcanzan su mayor potencial cuando se integran dentro de un modelo estructurado de gestión preventiva. Más allá de la tecnología utilizada, el principal diferencial radica en transformar grandes volúmenes de información sobre el comportamiento de conducción en intervenciones sistemáticas orientadas a la toma de decisiones, el liderazgo preventivo y la mejora continua. El modelo permitió fortalecer la identificación temprana de conductores con mayor exposición al riesgo, optimizar la asignación de recursos preventivos y consolidar una cultura de conducción segura basada en evidencia objetiva. Los resultados obtenidos sugieren que este enfoque puede constituir una metodología replicable en otras organizaciones con flotas de alta exposición, contribuyendo a la reducción de la siniestralidad vial y al fortalecimiento de los sistemas de gestión de la seguridad.

Bibliografía

PowerFleet. (s.f.). Soluciones de gestión de flotas y telemática. https://www.powerfleet.com/ar/?gad_source=1&gad_campaignid=23821534316&gclid=CjwKCAjwu53SBhAhEiwAJzSLNoVNz0M6rxuxBfOac8fsyMb7RJRxqucqOV-_sT6LjdOa9zBgQ52PwxoCJFIQAvD_BwE

Organización Panamericana de la Salud. (2023). Seguridad vial. https://www.paho.org/es/temas/seguridad-vial

Transformación de una aplicación móvil de reportes de seguridad para una gestión preventiva

Ceferino Berretta

Litoral Gas S.A.

ceferino.berretta@litoralgas.com.ar

Abstract

Antecedentes: La evolución de los sistemas de reporte en seguridad y salud en el trabajo requiere herramientas digitales que faciliten la detección temprana de actos y condiciones inseguras y su tratamiento antes de que deriven en incidentes. En Litoral Gas S.A. se utilizó inicialmente un sistema denominado “Reporte de Anomalías”, que posteriormente fue reemplazado por el relanzamiento de una nueva solución.

Objetivo: Describir la evolución e implementación de “Seguridad 360”, una aplicación móvil (con acceso también en formato de escritorio en la intranet) para el reporte, análisis y seguimiento de situaciones con potencial de daño a personas, instalaciones y/o medio ambiente.

Método: Se desarrolló e implementó “Seguridad 360” como medio digital para registrar reportes, asignar responsables, documentar acciones y evidencias, y realizar seguimiento hasta el cierre. La versión 2026 incorpora funcionalidades adicionales como geolocalización y clasificación del reporte para su análisis estadístico.

Resultados: La herramienta se definió con alcance para todos los colaboradores y empresas contratistas de obras y servicios, estandarizando el registro y la trazabilidad del tratamiento de riesgos. La información consolidada se utiliza para su agrupación y análisis, apoyando una gestión proactiva y la mejora continua.

Conclusión: La transición desde “Reporte de Anomalías” hacia “Seguridad 360” integra reporte y seguimiento en una solución digital que favorece la identificación temprana y el tratamiento sistemático de riesgos con evolución tecnológica aplicada.

Palabras Clave

seguridad y salud en el trabajo; aplicación móvil; reporte de anomalías; gestión de riesgos; mejora continua; prevención proactiva

1. Introducción

La identificación temprana de actos y condiciones inseguras constituye uno de los pilares de los sistemas de gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo. La notificación de incidentes, y oportunidades de mejora permite identificar peligros antes de que estos se materialicen en accidentes, facilitando la implementación de acciones correctivas y preventivas dentro del ciclo de mejora continua. Diversos organismos coinciden en que el compromiso de los trabajadores con el reporte de desvíos representa uno de los principales indicadores de madurez de la cultura de seguridad. En los últimos años, la transformación digital ha impulsado el desarrollo de herramientas para optimizar la gestión de la información preventiva. Las aplicaciones móviles han permitido agilizar el registro de incidentes, mejorar el seguimiento de las acciones correctivas y facilitar la obtención de indicadores para la toma de decisiones. Sin embargo, en muchas organizaciones el personal propio y las empresas contratistas utilizan sistemas de reporte diferentes o, incluso, los contratistas no participan del mismo sistema de gestión, lo que dificulta la comunicación de riesgos y el seguimiento de los desvíos. Asimismo, son escasas las experiencias publicadas sobre herramientas digitales que integren funcionalidades como la geolocalización de eventos, la reasignación de responsables y la participación de empresas contratistas. Durante los últimos cinco años, la organización registró más de 2.000 reportes preventivos, alcanzando una tasa anual de resolución superior al 99 %. Estos resultados evidenciaron la consolidación del proceso de reporte preventivo, pero también pusieron de manifiesto la necesidad de evolucionar hacia una plataforma más integrada. Si bien la plataforma utilizada hasta ese momento permitió consolidar el proceso de reporte preventivo, presentaba limitaciones funcionales que restringían su potencial de crecimiento, particularmente en relación con la integración de empresas contratistas, la trazabilidad de los desvíos y la gestión colaborativa de las acciones de mejora. En este sentido, el desafío no consistía únicamente en digitalizar el reporte de incidentes, sino en ampliar el alcance del sistema de gestión preventiva mediante una plataforma integrada que permitiera incorporar al personal propio y a las empresas contratistas en un mismo entorno de trabajo, fortaleciendo el seguimiento de los desvíos, la participación y la gestión colaborativa.

Se planteó como hipótesis que la implementación de una plataforma digital integrada mejoraría la gestión preventiva mediante una mayor participación en el reporte de desvíos y un seguimiento más eficiente de las acciones correctivas.

2. Objetivos

Objetivo general

Describir la implementación de la plataforma Seguridad 360° como herramienta de transformación digital para integrar la gestión preventiva del personal propio y las empresas contratistas en un único sistema de reporte y seguimiento de desvíos.

Objetivos específicos

Integrar en una única plataforma digital la gestión de reportes preventivos del personal propio y de las empresas contratistas.

• Estandarizar el registro de los desvíos mediante la clasificación de actos inseguros, condiciones inseguras y oportunidades de mejora.

• Fortalecer la trazabilidad de los desvíos mediante la asignación de responsables, el seguimiento de las acciones y el control de su resolución.

• Centralizar la información preventiva para facilitar el análisis de indicadores y la toma de decisiones.

• Promover una gestión preventiva colaborativa mediante herramientas que permitan la participación de todos los actores involucrados.

2. Metodología

Diseño del estudio

Se realizó un estudio descriptivo basado en el análisis de los reportes preventivos registrados en la plataforma "Anomalías" durante el período 2021-2026. La información analizada provino de la base histórica de reportes generada por dicha aplicación, la cual permitió identificar tendencias, oportunidades de mejora y necesidades de evolución del sistema de

gestión preventiva. Los resultados obtenidos constituyeron la base para el desarrollo e implementación de la plataforma Seguridad 360°.

Organización

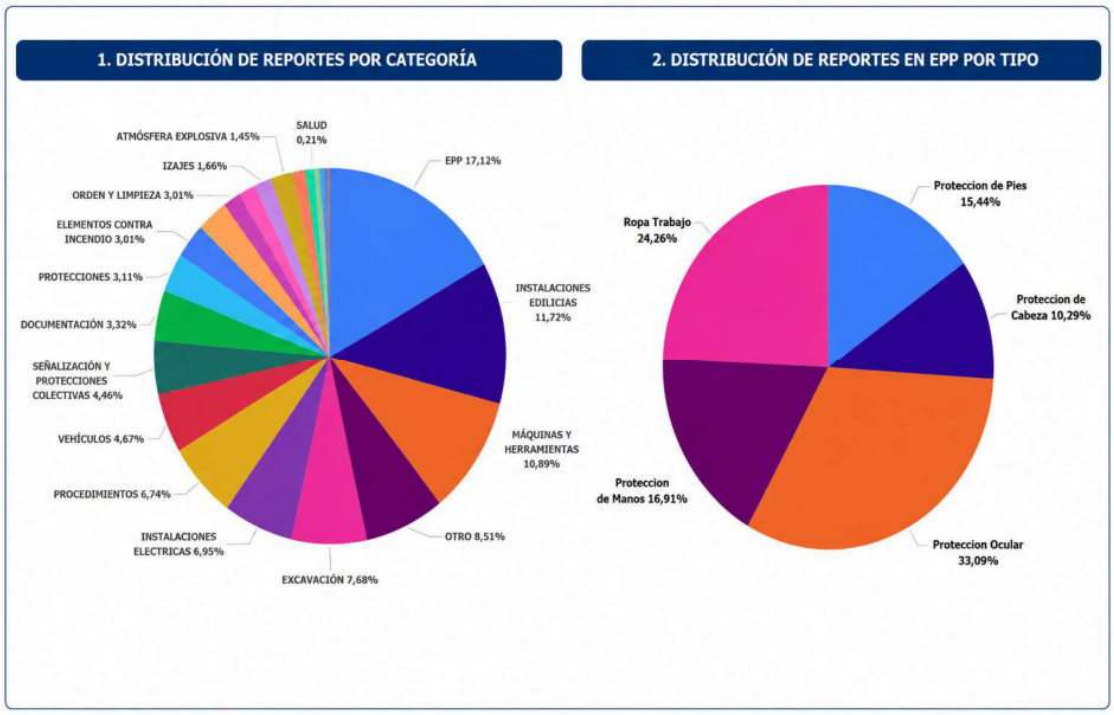
El estudio se desarrolló en Litoral Gas S.A., empresa distribuidora de gas natural que opera en la provincia de Santa Fe y noreste de la provincia de Buenos Aires. La organización posee aproximadamente:

435 trabajadores propios.

• 450 trabajadores contratistas.

• 3.3 Sistema de reporte preventivo previo

Desde el año 2021, la organización utilizó la aplicación interna denominada "Anomalías", disponible en la intranet corporativa, para el registro y la gestión de reportes preventivos realizados por el personal propio. La plataforma permitía registrar principalmente actos y condiciones inseguros, generando reportes estadísticos básicos para el seguimiento de los desvíos detectados. Si bien esta herramienta contribuyó a consolidar la cultura de reporte preventivo dentro de la organización, presentaba limitaciones en cuanto a la clasificación de los eventos, la integración de empresas contratistas, la trazabilidad de las acciones y la disponibilidad de información para un análisis detallado y la toma de decisiones. Durante el período 2021–2026, la información generada por la plataforma permitió obtener indicadores de gestión relevantes. Sin embargo, para su análisis fue necesario realizar procesos manuales de filtrado, clasificación y consolidación de los datos, debido a las limitaciones del sistema para generar información estructurada. A partir de este procesamiento fue posible identificar tendencias y definir acciones de mejora, lo que evidenció la necesidad de evolucionar hacia una plataforma con mayores capacidades de análisis y gestión.



Evolución del modelo de gestión preventiva

La implementación de Seguridad 360° representó una evolución del modelo de gestión preventiva de la organización, al transformar un sistema de reporte utilizado exclusivamente por el personal propio en una plataforma colaborativa e integrada, incluyendo externos. El nuevo modelo permitió centralizar la gestión de los desvíos en una única herramienta, incorporando la participación de empresas contratistas y estandarizando el registro mediante la clasificación de actos inseguros, condiciones inseguras y oportunidades de mejora. Asimismo, se incorporaron funcionalidades como la geolocalización de los eventos, la asignación y reasignación de responsables, el seguimiento de planes de acción y la visualización del estado de cada reporte. Esta evolución fortaleció la trazabilidad de los desvíos, mejoró la disponibilidad de información para el análisis de indicadores y favoreció una gestión preventiva más integrada y colaborativa.

3. Resultados y discusión de resultados

Evolución grafica sobre recopilación de datos

El análisis histórico permitió identificar un cambio de tendencia asociado a la evolución del modelo preventivo.



A partir de junio de 2026, con la implementación de Seguridad 360°, la información comenzó a registrarse con un mayor nivel de detalle, incorporando nuevas variables de análisis y una clasificación estandarizada de los reportes. Esta evolución permitió disponer de una base de datos más completa y estructurada, facilitando el análisis de la información, el seguimiento de los desvíos y la toma de decisiones en materia de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente.

Discusión

La implementación de Seguridad 360° representó un avance en la evolución del sistema de gestión preventiva de la organización. Si bien la plataforma se encuentra en una etapa inicial de funcionamiento, los primeros resultados evidencian una mejora en la calidad y el nivel

de detalle de la información registrada, permitiendo una clasificación más precisa de los reportes preventivos. A diferencia del sistema anterior, la incorporación de categorías y subcategorías estandarizadas, junto con funcionalidades como la geolocalización, la asignación de responsables y la integración de empresas contratistas, facilita la trazabilidad de los desvíos y la obtención de información más estructurada para el análisis de tendencias. Uno de los principales aportes de la plataforma no radica únicamente en la digitalización del proceso de reporte, sino en la posibilidad de centralizar la gestión preventiva en un único entorno de trabajo, integrando a todos los actores involucrados y generando una base de datos homogénea que favorece la toma de decisiones basada en evidencia. No obstante, debido al corto período transcurrido desde su implementación, aún no es posible evaluar el impacto de la herramienta sobre indicadores de desempeño de largo plazo, como la reducción de incidentes o la evolución de la cultura preventiva. Será necesario continuar el seguimiento del sistema para analizar estos aspectos en futuras investigaciones. Los resultados obtenidos hasta el momento permiten considerar a Seguridad 360° como una herramienta con potencial para fortalecer la gestión preventiva mediante la estandarización de la información, la mejora de la trazabilidad de los desvíos y el análisis sistemático de los datos generados.

5. Limitaciones

- Mantener actualizada la base de usuarios y empresas contratistas, incorporando oportunamente las altas, bajas y cambios de personal para asegurar el acceso y la participación de todos los actores involucrados. - Lograr la adopción homogénea de la herramienta por parte del personal externo, minimizando diferencias en la calidad y frecuencia de los reportes. - Favorecer el compromiso de los usuarios con el reporte preventivo.

4. Conclusiones

La implementación de Seguridad 360° permitió evolucionar el sistema de gestión preventiva de la organización hacia una plataforma digital integrada, capaz de centralizar el registro, la gestión y el seguimiento de los reportes preventivos en un único entorno de trabajo. La incorporación del personal propio y de las empresas contratistas, junto con la estandarización de la clasificación de los desvíos y la mejora en la trazabilidad de la información, fortaleció la disponibilidad de datos para la gestión y la toma de decisiones.

Si bien la plataforma se encuentra en una etapa inicial de implementación, los resultados obtenidos evidencian una mejora en la calidad de la información registrada y en las posibilidades de análisis de los reportes preventivos. La experiencia demuestra que la transformación digital de los sistemas de gestión preventiva no consiste únicamente en reemplazar herramientas tecnológicas, sino en generar información estructurada, integrada y confiable que contribuya al fortalecimiento de la cultura de seguridad y a la mejora continua de las organizaciones.

Bibliografía

Acceso para usuarios: https://login.microsoftonline.com

Transformando la seguridad en talleres: realidad virtual para la prevención de accidentes en elevadores

Gloria Bracamonte

INCHCAPE MOTORS

gloria.bracamonte@derco.pe

Abstract

En el sector automotriz, los elevadores de vehículos son equipos esenciales, pero de alto riesgo. Diversos estudios en seguridad industrial han identificado que los accidentes asociados a estos equipos se deben principalmente a:

• Incorrecta inspección previa del elevador

• Mala distribución de carga

• Fallas en los puntos de apoyo

• Desconocimiento de protocolos de seguridad

En Inchcape el uso de elevadores de vehículos en talleres representa una de las principales fuentes de riesgo laboral, debido a fallas operativas, errores humanos y deficiencias en la inspección preventiva. Este estudio evalúa la implementación de tecnología de Realidad Virtual (RV) como herramienta de capacitación y evaluación en la operación e inspección de elevadores, con el objetivo de reducir la ocurrencia de accidentes y mejorar la gestión del riesgo. Se desarrolló un entorno virtual inmersivo que simula condiciones reales de trabajo, permitiendo entrenar procedimientos críticos sin exposición a peligros físicos. Los resultados evidencian una mejora significativa en la identificación de riesgos, cumplimiento del programa de gestión de elevadores (protocolos) y reducción de incidentes potenciales.

Palabras Clave

Teoría tricondicional, Seguridad basada en el comportamiento, Empresa constructora, Accidentabilidad

1. Introducción

La industria automotriz constituye uno de los sectores productivos con mayor complejidad operativa debido a la diversidad de actividades que involucran la manipulación de equipos mecánicos, herramientas especializadas y vehículos de diferentes características técnicas (International Labour Organization [ILO], 2022). Dentro de este contexto, las operaciones desarrolladas en talleres de mantenimiento y reparación requieren la interacción permanente entre trabajadores y equipos de elevación de vehículos, considerados activos críticos para garantizar la eficiencia de los procesos de servicio. No obstante, el uso de elevadores representa también una fuente importante de riesgo ocupacional, ya que una falla en la inspección, un error durante la operación o una incorrecta distribución de la carga pueden ocasionar accidentes con consecuencias graves para las personas, los equipos y la continuidad operativa (ISO, 2018; Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2023).

La gestión moderna del riesgo reconoce que los accidentes laborales son el resultado de la interacción entre factores técnicos, organizacionales y humanos. Durante varias décadas, la prevención estuvo orientada principalmente al control de las condiciones físicas de trabajo; sin embargo, investigaciones posteriores demostraron que una proporción importante de los eventos no deseados tiene su origen en decisiones incorrectas, omisiones procedimentales y deficiencias en la percepción del riesgo (Reason, 1997).

Reason desarrolló el conocido Modelo del Queso Suizo, el cual plantea que los accidentes ocurren cuando múltiples fallas latentes y activas atraviesan simultáneamente las barreras de seguridad existentes en la organización. En este modelo, la capacitación constituye una barrera defensiva destinada a reducir la probabilidad de errores humanos mediante el fortalecimiento de las competencias técnicas y cognitivas.

Los accidentes relacionados con elevadores de vehículos han sido ampliamente asociados con factores humanos, fallas mecánicas y deficiencias en el cumplimiento de los procedimientos de seguridad (Reason, 1997; OSHA, 2023). Entre las causas más frecuentes se encuentran la omisión de inspecciones preoperacionales, la selección inadecuada de los puntos de apoyo del vehículo, el posicionamiento incorrecto de la carga, el uso de equipos en condiciones deficientes y el desconocimiento de los protocolos establecidos (American National Standards Institute [ANSI], 2020). Estos eventos evidencian que la seguridad operacional depende no solo de la confiabilidad técnica de los equipos, sino también del nivel de competencia, percepción del riesgo y toma de decisiones de los trabajadores durante la ejecución de sus actividades (Reason, 1997; Hollnagel, 2014).

Posteriormente, Hollnagel (2014) propuso el enfoque Safety-II, el cual plantea que la seguridad debe orientarse no solo a investigar las causas de los accidentes, sino también a comprender por qué la mayoría de las operaciones se desarrollan exitosamente. Desde esta perspectiva, el entrenamiento debe fortalecer la capacidad adaptativa de los trabajadores para responder adecuadamente ante situaciones imprevistas y escenarios dinámicos de riesgo.

La Realidad Virtual se alinea con este enfoque al permitir que los trabajadores practiquen procedimientos críticos en ambientes simulados donde pueden cometer errores, recibir retroalimentación inmediata y repetir las tareas hasta desarrollar comportamientos seguros sin generar consecuencias reales.

Desde una perspectiva organizacional, la norma ISO 45001:2018 promueve un enfoque preventivo basado en la identificación de peligros, la evaluación de riesgos y la implementación de controles operacionales, destacando la capacitación continua como un requisito indispensable para desarrollar competencias que permitan reducir la ocurrencia de incidentes y accidentes laborales (ISO, 2018).

En respuesta a estos desafíos, las organizaciones han fortalecido sus Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo mediante la implementación de procedimientos estandarizados, programas de capacitación, inspecciones periódicas y controles operacionales orientados a reducir la probabilidad de incidentes (ISO, 2018; ILO, 2022). Sin embargo, los métodos tradicionales de formación, basados principalmente en clases teóricas, presentaciones audiovisuales y demostraciones prácticas limitadas, suelen presentar restricciones para recrear escenarios de alto riesgo sin comprometer la seguridad de los participantes (Kolb, 1984; Babalola et al., 2023). Como consecuencia, los trabajadores pueden completar su proceso de capacitación sin haber experimentado situaciones críticas que les permitan desarrollar habilidades para reconocer peligros, anticipar fallas y responder adecuadamente ante condiciones inseguras (Scorgie et al., 2024).

El fundamento pedagógico más importante de la capacitación mediante Realidad Virtual corresponde a la Teoría del Aprendizaje Experiencial propuesta por Kolb (1984).

Este modelo sostiene que el aprendizaje es un proceso continuo mediante el cual el conocimiento se construye a partir de la experiencia directa. Según Kolb, el aprendizaje ocurre a través de cuatro etapas:

• experiencia concreta;

• observación reflexiva;

• conceptualización abstracta;

• experimentación activa.

La Realidad Virtual permite integrar simultáneamente estas cuatro fases al ofrecer escenarios donde los participantes interactúan con situaciones similares a las que enfrentan en su trabajo cotidiano.

Durante la simulación, los trabajadores toman decisiones, observan las consecuencias de sus acciones, reciben retroalimentación inmediata y aplican nuevamente los procedimientos hasta alcanzar un desempeño adecuado. Este ciclo favorece un aprendizaje profundo y una mayor transferencia del conocimiento hacia el entorno laboral.

Durante la última década, la transformación digital ha impulsado la incorporación de tecnologías inmersivas en diferentes sectores industriales. Entre ellas, la Realidad Virtual (RV) ha adquirido un papel relevante como estrategia de aprendizaje experiencial, al permitir la recreación de ambientes tridimensionales altamente realistas donde los usuarios pueden interactuar con equipos, herramientas y procedimientos de forma segura (Radianti et al., 2020; Babalola et al., 2023). A diferencia de las metodologías convencionales, la RV posibilita la exposición controlada a escenarios complejos, favoreciendo el desarrollo de competencias técnicas, la toma de decisiones bajo condiciones simuladas y la consolidación de conocimientos mediante la práctica repetitiva (Freina & Ott, 2015; Stefan et al., 2023).

Diversas investigaciones han demostrado que la capacitación inmersiva mejora la retención del conocimiento, incrementa el compromiso del participante y fortalece la identificación de peligros en comparación con los métodos tradicionales (Stefan et al., 2023; Scorgie et al., 2024). Desde la perspectiva de la teoría del aprendizaje experiencial, el conocimiento se construye con mayor eficacia cuando los individuos participan activamente en experiencias que les permiten observar las consecuencias de sus decisiones, reflexionar sobre ellas y aplicar posteriormente los conceptos adquiridos en situaciones reales de trabajo (Kolb, 1984). En el ámbito de la Seguridad y Salud en el Trabajo, esta capacidad resulta especialmente valiosa, dado que muchas

condiciones de riesgo no pueden reproducirse durante la capacitación convencional por las implicaciones éticas y de seguridad que ello representa (Babalola et al., 2023).

En el sector automotriz, la aplicación de tecnologías inmersivas para la capacitación en seguridad aún presenta un desarrollo limitado, particularmente en procesos asociados con la operación e inspección de elevadores de vehículos. Aunque existen estudios sobre el uso de simuladores en actividades industriales, persiste un vacío de conocimiento respecto a la efectividad de la Realidad Virtual para fortalecer las competencias relacionadas con la identificación de riesgos, la inspección preoperacional y la operación segura de estos equipos en talleres automotrices (Stefan et al., 2023; Scorgie et al., 2024). Esta brecha resulta relevante considerando que los elevadores son utilizados diariamente y que un error operativo puede derivar en lesiones graves, daños materiales y pérdidas económicas significativas (OSHA, 2023; ISO, 2018).

La cultura de seguridad constituye uno de los pilares fundamentales de la prevención moderna. De acuerdo con Krause (2005), las organizaciones con mejores indicadores de seguridad son

aquellas que logran integrar el comportamiento seguro dentro de sus valores, procesos y estilos de liderazgo.

La capacitación mediante Realidad Virtual no solo mejora el aprendizaje técnico, sino que también fortalece la percepción del riesgo, incrementa la confianza de los trabajadores y favorece la adopción de comportamientos seguros durante la ejecución de las actividades.

En el presente estudio, la reducción del riesgo operacional se aborda desde un enfoque integral, en el que la capacitación inmersiva mediante Realidad Virtual (RV) constituye el componente central de la intervención. Sin embargo, la efectividad de esta estrategia no depende únicamente del proceso formativo, sino de su integración con otros elementos esenciales del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST), tales como la implementación del procedimiento corporativo para la operación segura de elevadores de vehículos, la ejecución sistemática de inspecciones preoperacionales y el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos. La articulación de estos controles técnicos, administrativos y formativos favorece el desarrollo de competencias en los trabajadores, fortalece el cumplimiento de los estándares operacionales y contribuye a disminuir la probabilidad de incidentes y accidentes asociados al uso de elevadores de vehículos, en concordancia con los principios de mejora continua y gestión del riesgo establecidos por la ISO 45001:2018 (ISO, 2018).

La relevancia de esta investigación se sustenta en el contexto operativo de Inchcape Perú, donde los talleres automotrices realizan aproximadamente 46 800 operaciones de elevación de vehículos por año, lo que representa una exposición permanente a riesgos asociados con el uso de estos equipos críticos. El elevado volumen de maniobras incrementa la probabilidad de ocurrencia de errores operacionales y exige un alto nivel de competencia técnica por parte del personal encargado de la inspección y operación de los elevadores. Adicionalmente, durante el período previo a la implementación de la intervención, la organización registró dos incidentes de alto potencial (SIF) relacionados con la pérdida de estabilidad de vehículos durante las maniobras de elevación, en los que existió riesgo inminente de caída del vehículo desde el elevador. Aunque estos eventos no ocasionaron lesiones personales ni daños materiales de consideración, evidenciaron la existencia de vulnerabilidades en los controles operacionales y la necesidad de fortalecer las competencias del personal para prevenir la materialización de accidentes de consecuencias potencialmente catastróficas.

En este escenario, la implementación de la capacitación mediante Realidad Virtual adquiere especial importancia, ya que permite recrear condiciones de trabajo y escenarios críticos de alta

peligrosidad que difícilmente podrían reproducirse mediante métodos convencionales de capacitación, debido a las implicaciones éticas y de seguridad que ello representa (Kolb, 1984; Radianti et al., 2020). El entrenamiento inmersivo facilita la práctica repetitiva de procedimientos críticos, la identificación de peligros, la toma de decisiones en situaciones de riesgo y la retroalimentación inmediata, fortaleciendo tanto las competencias técnicas como la percepción del riesgo de los trabajadores. En consecuencia, la integración de la capacitación inmersiva con procedimientos estandarizados, inspecciones sistemáticas y programas de mantenimiento constituye una estrategia preventiva robusta para fortalecer la cultura de seguridad y reducir la exposición a eventos de alto potencial en talleres automotrices con elevada intensidad operativa.

2. Metodología

Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño cuasi-experimental de tipo pretest–postest aplicado a un solo grupo de participantes. Este diseño es apropiado cuando se busca evaluar el efecto de una intervención en un contexto organizacional donde no es posible realizar una asignación aleatoria de los participantes, permitiendo comparar el desempeño antes y después de la implementación del tratamiento (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018; Shadish et al., 2002).

El estudio tuvo como finalidad evaluar la efectividad de un programa de capacitación inmersiva mediante Realidad Virtual (RV) sobre la identificación de riesgos, la correcta inspección y la operación segura de elevadores de vehículos, así como su contribución a la reducción de incidentes potenciales en talleres automotrices.

Contexto del estudio

La investigación se realizó en los talleres automotrices de Inchcape, empresa dedicada a la distribución y comercialización de vehículos. Como parte de su Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, la organización implementó un programa de capacitación basado en Realidad Virtual para fortalecer las competencias de los técnicos responsables de la inspección y operación de elevadores de vehículos.

El simulador inmersivo fue desarrollado por un proveedor tecnológico especializado en colaboración con el área de Seguridad, Salud y Medio Ambiente (HSE) de la empresa, con el propósito de recrear escenarios de trabajo representativos de las actividades realizadas en los talleres.

La capacitación, también se integró tanto a los programas periódicos de formación como al proceso de incorporación (onboarding) de nuevos colaboradores, en concordancia con el enfoque de mejora continúa promovido por la ISO 45001:2018, que resalta la importancia del desarrollo de competencias para prevenir lesiones y enfermedades ocupacionales (ISO, 2018).

Participantes

La población de estudio estuvo conformada por 118 técnicos automotrices, quienes participaron en el programa de capacitación durante el período de implementación.

Las características generales de la muestra fueron las siguientes:

Característica	Valor
Número de participantes	118
Edad promedio	30 años
Experiencia laboral promedio	7 años
Duración de la capacitación	60 minutos
Tecnología utilizada	5 visores Meta Quest 2

La participación se realizó en el marco de las actividades institucionales de capacitación y todos los participantes fueron evaluados antes y después de la intervención.

Intervención mediante Realidad Virtual y controles complementarios

La intervención principal del estudio consistió en la implementación de un programa de capacitación inmersiva mediante Realidad Virtual (RV), diseñado para fortalecer las competencias de los técnicos en la inspección y operación segura de elevadores de vehículos. El programa se desarrolló utilizando cinco visores Meta Quest 2 y un simulador inmersivo elaborado por un proveedor tecnológico especializado en coordinación con el área de Seguridad, Salud y Medio Ambiente (HSE) de Inchcape.

El contenido del simulador permitió a los participantes interactuar con escenarios que reproducían las condiciones reales de trabajo, incluyendo la inspección preoperacional del elevador, la identificación de fallas mecánicas, la selección de los puntos de apoyo del vehículo, el posicionamiento seguro de la carga y la respuesta ante escenarios críticos, como sobrecargas, fallas estructurales y posibles colapsos del vehículo. La metodología de entrenamiento se fundamentó en el aprendizaje experiencial, favoreciendo la práctica repetitiva, la retroalimentación inmediata y la toma de decisiones en un entorno seguro (Kolb, 1984; Radianti et al., 2020).

Si bien la capacitación mediante Realidad Virtual constituyó la intervención central de la investigación, su implementación se integró a un enfoque de gestión del riesgo operacional basado en múltiples controles preventivos. En este contexto, el programa se complementó con la aplicación del procedimiento corporativo para la operación segura de elevadores, la ejecución de inspecciones preoperacionales diarias, el cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos y el seguimiento permanente de los indicadores de seguridad.

El procedimiento corporativo estableció los criterios técnicos para la inspección, operación y uso seguro de los elevadores, definiendo las responsabilidades de los trabajadores y la secuencia de actividades requeridas antes, durante y después de cada operación. Este procedimiento fue incorporado al simulador de Realidad Virtual, permitiendo que los participantes ejecutaran cada etapa conforme a los estándares operacionales establecidos por la organización.

De manera complementaria, las inspecciones diarias de los elevadores constituyeron un mecanismo de verificación sistemática para identificar oportunamente condiciones inseguras, fallas mecánicas y desviaciones operativas antes del inicio de las actividades. Asimismo, los

programas de mantenimiento preventivo y correctivo garantizaron la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, reduciendo la probabilidad de fallas asociadas al deterioro de sus componentes.

En consecuencia, la reducción del riesgo operacional observada durante el período de estudio debe interpretarse como el resultado de una estrategia integral de prevención, en la cual la capacitación inmersiva mediante Realidad Virtual actuó como el principal componente para el fortalecimiento de las competencias de los trabajadores, mientras que los procedimientos operacionales, las inspecciones y el mantenimiento funcionaron como controles técnicos y administrativos que reforzaron la efectividad de la intervención, en concordancia con los principios de jerarquía de controles y mejora continua establecidos por la norma ISO 45001:2018 (ISO, 2018).

Instrumentos de recolección de datos

Para evaluar el impacto de la intervención se emplearon dos instrumentos desarrollados por el área de HSE de la organización:

Examen de conocimientos

Se aplicó antes y después de la capacitación para evaluar la comprensión de los procedimientos de inspección y operación segura de elevadores. El examen permitió medir la capacidad de los participantes para identificar peligros, reconocer fallas mecánicas y aplicar correctamente los protocolos establecidos.

Encuesta de percepción

Al finalizar la capacitación se aplicó una encuesta orientada a conocer la percepción de los participantes respecto a:

• facilidad de uso del simulador;

• comprensión de los contenidos;

• confianza para operar elevadores;

• percepción del riesgo;

• utilidad de la metodología;

• satisfacción con la capacitación.

Además, se realizó un seguimiento anual utilizando los registros corporativos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo para analizar la evolución de los accidentes, incidentes, cumplimiento de inspecciones y aplicación de los procedimientos operacionales.

Variables de estudio

La variable independiente fue la implementación del programa de capacitación mediante Realidad Virtual.

Las variables dependientes fueron:

Variable	Indicador

Identificación de riesgos	Incremento porcentual en la detección de peligros
Errores operativos	Reducción de errores durante la operación
Retención del conocimiento	Resultados de evaluaciones posteriores
Percepción de seguridad	Resultados de la encuesta de satisfacción
Cumplimiento de inspecciones	Porcentaje de inspecciones ejecutadas
Cumplimiento del procedimiento	Resultados de auditorías
Accidentes e incidentes	Registros históricos de seguridad

Procedimiento

La investigación se desarrolló en cinco fases.

Fase 1. Diagnóstico inicial. Se aplicó un examen de conocimientos para establecer la línea base del nivel de competencias de los participantes en relación con la operación segura de elevadores.

Fase 2. Capacitación inmersiva. Los participantes recibieron una sesión individual de 90 minutos utilizando el simulador de Realidad Virtual mediante visores Meta Quest 2.

Fase 3. Evaluación posterior. Finalizada la capacitación, se aplicó nuevamente el examen de conocimientos y la encuesta de percepción para identificar cambios en el aprendizaje y en la confianza de los trabajadores.

Fase 4. Aplicación en el entorno laboral. Los técnicos incorporaron los procedimientos aprendidos en sus actividades cotidianas dentro de los talleres automotrices.

Fase 5. Seguimiento. Durante un período de doce meses se monitorearon los indicadores de seguridad relacionados con accidentes, incidentes, cumplimiento de inspecciones y aplicación del procedimiento de operación segura.



Fuente: Elaboración propia

Análisis de datos

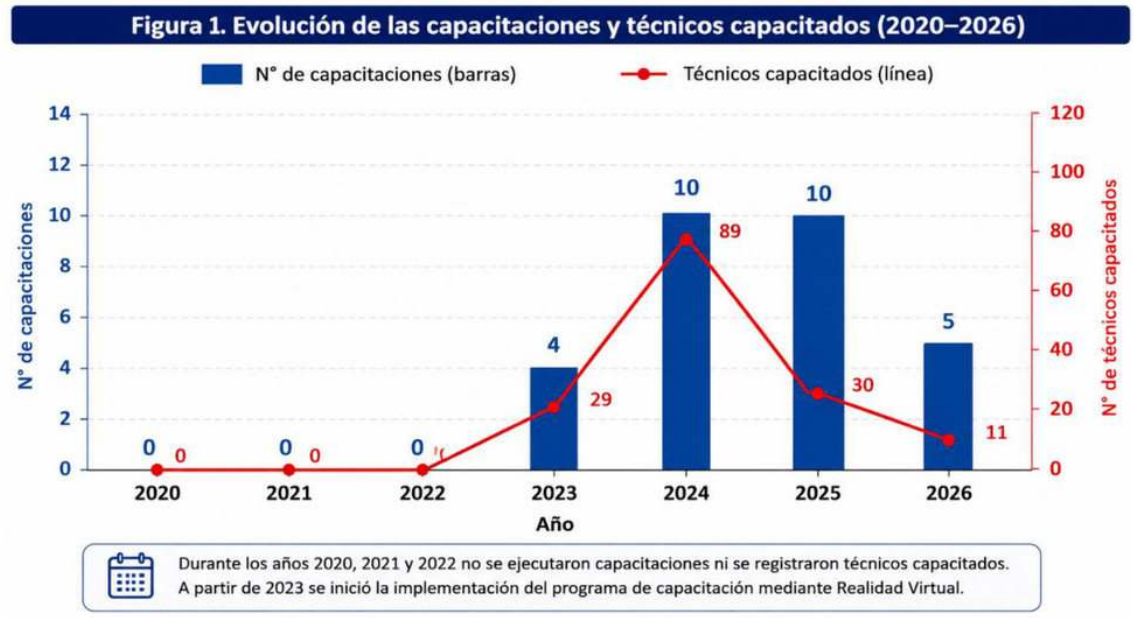
Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, utilizando frecuencias, porcentajes y medidas de tendencia central para comparar los resultados obtenidos antes y después de la intervención (Field, 2018).

Asimismo, se analizaron los indicadores históricos de seguridad correspondientes al período 2022–2026, permitiendo identificar tendencias en la ocurrencia de accidentes e incidentes, el cumplimiento de inspecciones, la ejecución de capacitaciones y el cumplimiento de los procedimientos operacionales.

Resultados, análisis y discusión de resultados

El estudio incluyó a 118 técnicos automotrices, quienes participaron en un programa de capacitación mediante un simulador inmersivo de Realidad Virtual para la inspección y operación segura de elevadores de vehículos. La intervención se complementó con la implementación del procedimiento corporativo de operación de elevadores, la ejecución de inspecciones preoperacionales diarias y el fortalecimiento del programa de mantenimiento preventivo y correctivo.

Figura 1. Evolución de las capacitaciones y trabajadores capacitados (2022– 2026)



3. Resultados y discusión de resultados

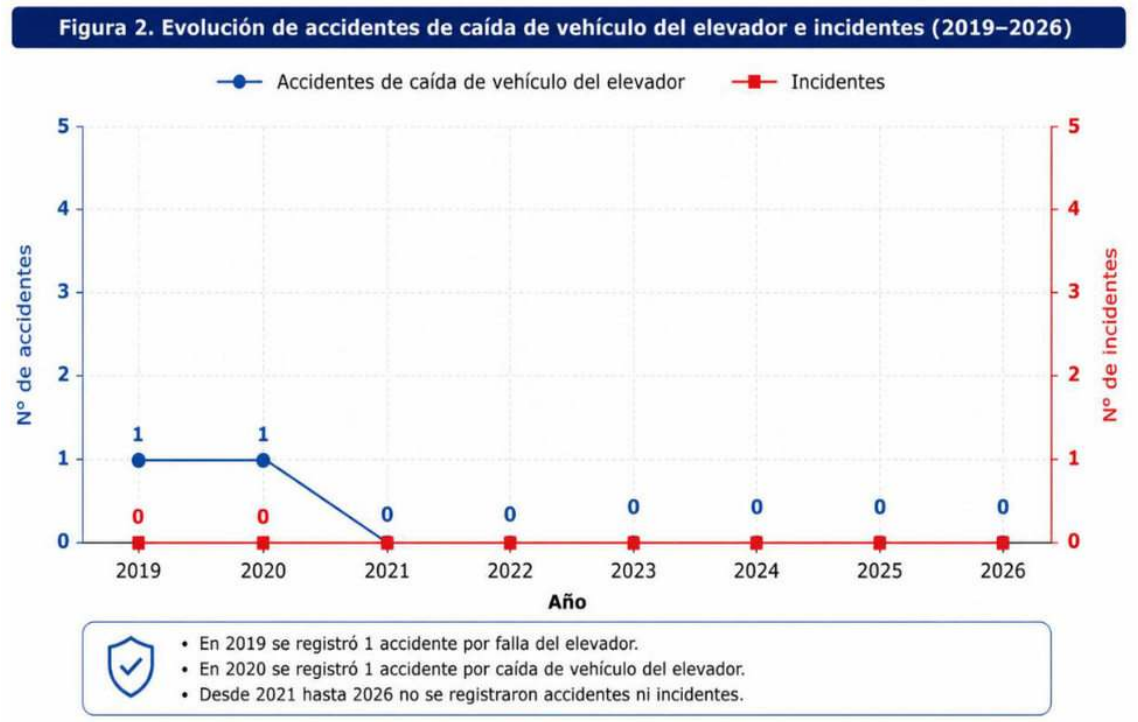
La Figura 1 presenta la evolución de las capacitaciones y del número de técnicos capacitados entre los años 2020 y 2026 evidenció un cambio significativo a partir de la implementación del programa de capacitación mediante Realidad Virtual en el año 2023 (Figura 1).

Durante el periodo 2020–2022 no se registró la ejecución de actividades de capacitación ni la participación de técnicos. En 2023 se inició el programa con la realización de 4 capacitaciones, alcanzando un total de 29 técnicos capacitados.

En 2024 se observó el mayor crecimiento del periodo analizado, incrementándose el número de capacitaciones a 10 sesiones y alcanzando el valor máximo de 89 técnicos capacitados, lo que representa un aumento de 206,9 % respecto al año anterior.

Posteriormente, en 2025 y 2026 se mantuvo la continuidad del programa con diez y cinco capacitaciones, respectivamente, aunque dirigidas a un menor número de trabajadores debido a que estuvieron enfocadas en personal específico y de reciente incorporación.

Figura 2. Accidentes, incidentes y actividades de capacitación



Resultados

La Figura 2 muestra la evolución de los accidentes por caída de vehículo del elevador y de los incidentes durante el periodo 2019–2026 mostró una reducción sostenida hasta alcanzar la ausencia total de eventos desde el año 2021 (Figura 2).

En 2019 se registró un accidente asociado a una falla del elevador, mientras que en 2020 ocurrió un accidente por caída de vehículo del elevador. En ambos años no se reportaron incidentes asociados.

A partir de 2021 y durante los años 2022, 2023, 2024, 2025 y 2026, no se registraron accidentes por caída de vehículo del elevador ni incidentes, manteniéndose una frecuencia de cero eventos durante seis años consecutivos.

En términos acumulados, durante el periodo de estudio se registraron únicamente dos accidentes (25 % de los años evaluados) y ningún incidente, observándose una reducción del 100 % en la ocurrencia de accidentes a partir de 2021.

Estos resultados evidencian que, tras los eventos ocurridos en los dos primeros años del periodo analizado, se mantuvo un desempeño sostenido sin registros de accidentes o incidentes relacionados con la operación del elevador de vehículos.

Figura 3. Cumplimiento del programa de inspecciones



Resultados

La Figura 3 presenta la evolución del cumplimiento del programa de inspecciones durante el periodo 2020–2026 evidenció una mejora progresiva y sostenida, alcanzando niveles cercanos al cumplimiento total al final del periodo evaluado.

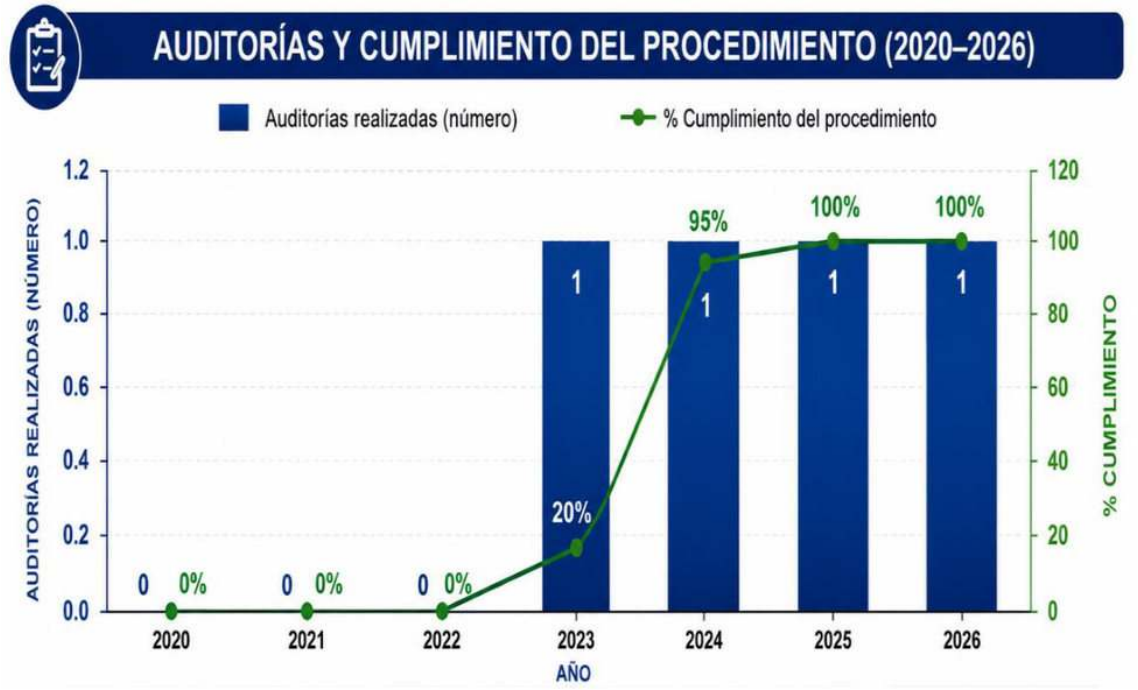
Durante los años 2020, 2021 y 2022 no se registró cumplimiento del programa de inspecciones, manteniéndose un valor de 0 %. En 2023 se observó el inicio de la implementación del programa, alcanzándose un 23 % de cumplimiento.

En 2024, el cumplimiento aumentó hasta 50 %, lo que representa un incremento absoluto de 27 puntos porcentuales respecto al año anterior. La mejora más significativa se registró en 2025, cuando el cumplimiento alcanzó 93 %, equivalente a un incremento de 43 puntos porcentuales en comparación con 2024.

Durante 2026 se consolidó el desempeño del programa, alcanzándose un cumplimiento de 98 %, correspondiente a un incremento de 5 puntos porcentuales respecto a 2025 y al valor más alto del periodo de estudio.

En conjunto, los resultados muestran una tendencia ascendente continua desde 2023, con un incremento acumulado de 75 puntos porcentuales entre 2023 y 2026 y de 98 puntos porcentuales respecto al inicio del periodo evaluado.

Figura 4. Cumplimiento del procedimiento mediante auditorías



Resultados

La Figura 4 muestra la evolución de las auditorías y del cumplimiento del procedimiento durante el periodo 2020–2026 evidenció una mejora progresiva en la verificación del proceso y en el nivel de cumplimiento alcanzado.

Durante los años 2020, 2021 y 2022 no se realizaron auditorías, registrándose un 0 % de cumplimiento del procedimiento. En 2023 se efectuó la primera auditoría, obteniéndose un nivel de cumplimiento de 20 %, lo que evidenció un bajo grado de implementación inicial del procedimiento.

En 2024 se realizó una nueva auditoría, manteniéndose una frecuencia de una auditoría anual; sin embargo, el porcentaje de cumplimiento aumentó significativamente hasta 95 %, lo que representa un incremento de 75 puntos porcentuales respecto al año anterior.

Durante 2025 se ejecutó una auditoría adicional y el cumplimiento alcanzó el 100 %, nivel que se mantuvo en 2026 con la realización de una auditoría anual y sin variaciones en el porcentaje de cumplimiento.

En conjunto, entre 2023 y 2026 se realizaron cuatro auditorías, observándose un incremento acumulado de 80 puntos porcentuales en el cumplimiento del procedimiento (de 20 % a 100 %). Asimismo, el cumplimiento permaneció en valores iguales o superiores al 95 % durante los últimos tres años del periodo evaluado.

DISCUSIÓN

Impacto de la capacitación

Los resultados muestran una evolución favorable de las actividades de capacitación durante el periodo de estudio. Aunque el diseño descriptivo no permite establecer relaciones de causalidad, el incremento de las capacitaciones coincidió temporalmente con una disminución de los accidentes e incidentes. Estos hallazgos son consistentes con Burke et al. (2006), quienes demostraron que la formación en seguridad mejora el comportamiento seguro y reduce la probabilidad de accidentes laborales.

La incorporación de simuladores de Realidad Virtual probablemente fortaleció el aprendizaje experiencial, permitiendo que los trabajadores practicaran procedimientos críticos en un entorno seguro y controlado.

Fortalecimiento del control operacional

El cumplimiento progresivo del programa de inspecciones y la consolidación del procedimiento mediante auditorías reflejan un fortalecimiento del sistema de gestión. Bird y Germain (1996) señalan que las inspecciones sistemáticas permiten identificar actos y condiciones inseguras antes de que produzcan pérdidas, mientras que las auditorías facilitan la verificación de la eficacia de los controles implementados.

En este estudio, ambos indicadores alcanzaron el 100 % de cumplimiento a partir de 2024, evidenciando un elevado nivel de disciplina operacional.

Relación entre las estrategias preventivas y los indicadores de seguridad

La evolución conjunta de los indicadores muestra que el incremento de las actividades preventivas estuvo acompañado por una reducción sostenida de los accidentes e incidentes laborales. Aunque no puede afirmarse una relación causal, la tendencia observada es coherente con los principios de la prevención basada en el control de riesgos y coincide con lo reportado por la Organización Internacional del Trabajo (ILO, 2022), que destaca la combinación de capacitación, inspecciones y auditorías como elementos esenciales para mejorar el desempeño en seguridad y salud en el trabajo.

Implicaciones para la gestión de seguridad

Los resultados respaldan la incorporación de tecnologías inmersivas dentro de los programas de capacitación en seguridad industrial. La Realidad Virtual ofrece la posibilidad de entrenar tareas de alto riesgo sin exponer a los trabajadores a peligros reales, favoreciendo la adquisición de competencias técnicas y el cumplimiento de procedimientos críticos.

Desde la perspectiva de la mejora continua, los hallazgos son coherentes con el ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) promovido por la ISO 45001:2018, en el cual la capacitación, las inspecciones y las auditorías constituyen herramientas fundamentales para fortalecer el desempeño del sistema de gestión.

Limitaciones y futuras investigaciones

El carácter descriptivo del estudio impide establecer relaciones de causalidad entre las intervenciones implementadas y la reducción de los accidentes. Futuras investigaciones podrían incorporar diseños cuasi experimentales, grupos de comparación e indicadores adicionales, como tasas de frecuencia, severidad, comportamiento seguro y percepción del riesgo, para evaluar con mayor precisión el impacto de la capacitación mediante Realidad Virtual.

Discusión integral de los resultados

El análisis conjunto de los indicadores evidencia una evolución favorable del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo entre 2020 y 2026. La implementación progresiva de programas de capacitación, el incremento del cumplimiento de las inspecciones y la consolidación de las auditorías coincidieron con una reducción significativa de los accidentes e incidentes laborales.

Desde una perspectiva sistémica, estos resultados son consistentes con el modelo de mejora continua propuesto por la ISO 45001:2018, en el que la planificación, implementación, verificación y mejora de los procesos constituyen elementos fundamentales para reducir los riesgos ocupacionales. Asimismo, los hallazgos concuerdan con la teoría del control de pérdidas

de Bird y Germain (1996), quienes sostienen que las organizaciones que fortalecen sus actividades preventivas logran disminuir la frecuencia de eventos no deseados y mejorar su desempeño operativo.

Aunque la naturaleza descriptiva del estudio limita el establecimiento de relaciones causales, la tendencia observada permite inferir que el fortalecimiento de las estrategias preventivas estuvo asociado con una mejora sostenida de los indicadores de seguridad. En este sentido, se recomienda mantener la continuidad de los programas de capacitación, inspecciones y auditorías, así como incorporar indicadores de frecuencia, severidad y comportamiento seguro para futuras investigaciones que permitan evaluar con mayor precisión la eficacia de las intervenciones implementadas.

4. Conclusiones

1. La implementación de un programa integral de capacitación basado en Realidad Virtual (RV), complementado con procedimientos estandarizados, inspecciones preoperacionales y mantenimiento preventivo de los elevadores, contribuyó al fortalecimiento del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en los talleres automotrices. La capacitación inmersiva permitió que los 118 técnicos participantes desarrollaran competencias relacionadas con la inspección y operación segura de los elevadores en un entorno controlado, reduciendo la exposición a riesgos durante el proceso de aprendizaje. 2. Los resultados evidenciaron una mejora progresiva de los indicadores de desempeño en seguridad entre 2022 y 2026. El incremento de las actividades de capacitación estuvo acompañado por una disminución del 58,3 % en el número de accidentes respecto al año de mayor incidencia y por la reducción total de los incidentes registrados en 2026. Aunque el diseño descriptivo del estudio no permite establecer relaciones causales, la tendencia observada sugiere una asociación positiva entre el fortalecimiento de las actividades preventivas y la reducción de los eventos no deseados.

3. La ejecución sistemática de inspecciones preoperacionales permitió incrementar el cumplimiento del programa de inspecciones desde 76,47 % en 2022 hasta 100 % a partir de 2024, manteniéndose este nivel incluso con un aumento significativo del número de inspecciones anuales. Este resultado refleja un mayor nivel de control operacional y una adecuada integración de las actividades preventivas dentro de la gestión diaria de los talleres. 4. La implementación del procedimiento corporativo para la operación de elevadores, verificada mediante auditorías internas, permitió incrementar el nivel de cumplimiento desde 20 % en 2023 hasta alcanzar el 100 % en 2025 y 2026. Este comportamiento evidencia la consolidación del procedimiento, la apropiación de los estándares operacionales por parte del personal y la efectividad de las acciones correctivas implementadas durante el periodo de estudio. 5. En conjunto, los hallazgos demuestran que la incorporación de tecnologías inmersivas de capacitación, integrada con procedimientos estandarizados, inspecciones sistemáticas y auditorías periódicas, constituye una estrategia efectiva para fortalecer la cultura de seguridad y mejorar el desempeño del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en talleres automotrices. Este enfoque resulta especialmente relevante para la preparación del personal que interviene en el mantenimiento de vehículos eléctricos, donde los riesgos asociados a equipos de elevación y sistemas de alta tensión requieren métodos de formación que favorezcan el aprendizaje práctico sin exponer a los trabajadores a situaciones de peligro real. 6. Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones evalúen la efectividad de la capacitación en Realidad Virtual mediante diseños experimentales o cuasi experimentales, incorporando indicadores objetivos de desempeño, transferencia del aprendizaje, retención de conocimientos y percepción del riesgo. Asimismo, sería pertinente comparar esta metodología con programas de capacitación convencionales para cuantificar su impacto sobre la reducción de accidentes, la mejora de las competencias técnicas y la consolidación de una cultura preventiva en la industria automotriz.

Estas conclusiones son coherentes con los resultados obtenidos y respaldan el potencial de la Realidad Virtual como una herramienta innovadora para la gestión de la seguridad y salud en el trabajo, particularmente en entornos donde la exposición a riesgos operacionales exige estrategias de capacitación seguras, estandarizadas y de alta efectividad.

Bibliografía

• Babalola, A., Manu, P., Cheung, C., Yunusa-Kaltungo, A., & Da Silva Bartolo, P. J. (2023). Applications of immersive technologies for occupational safety and health training and education: A systematic review. Safety Science, 166, 106214.

• Kolb, D. A. (1984). Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. Prentice Hall.

• Scorgie, D., Feng, Z., Paes, D., Parisi, F., Yiu, T. W., & Lovreglio, R. (2024). Virtual reality for safety training: A systematic literature review and meta-analysis. Safety Science, 171, 106372.

• Rey-Becerra, E., Barrero, L. H., Ellegast, R., & Kluge, A. (2023). Improvement of short- term outcomes with VR-based safety training for work at heights. Applied Ergonomics, 112, 104077.

• Stefan, H., Mortimer, M., & Horan, B. (2023). Evaluating the effectiveness of virtual reality for safety-relevant training: A systematic review. Virtual Reality, 27, 2839–2869.

• ISO 45001:2018. (2018). Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use.

• Field, A. (2018). Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics (5th ed.). Sage. •

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill. •

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

Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Prentice Hall. •

Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). Experimental and quasi- experimental designs for generalized causal inference. Houghton Mifflin. •

World Medical Association. (2013). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. JAMA, 310(20), 2191– 2194. •

Bird, F. E., & Germain, G. L. (1996). Practical Loss Control Leadership. Det Norske Veritas. •

Burke, M. J., Sarpy, S. A., Smith-Crowe, K., Chan-Serafin, S., Salvador, R. O., & Islam, G. (2006). Relative effectiveness of worker safety and health training methods. American Journal of Public Health, 96(2), 315–324. https://doi.org/10.2105/AJPH.2004.059840 •

International Labour Organization. (2022). World Employment and Social Outlook: Trends 2022. •

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

Artículo de revista en papel

Rodríguez, C. (2007). God's eye does not look at signs. Early development and semiotics. Infancia y Aprendizaje, 30(3), 343-374.

Artículo de revista electrónica

• Artículo de revista con paginación y doi

Blanco, M., Veiga, O. L., Sepúlveda, A. R., Izquierdo-Gomez, R., Román, F. J., López, S., y Rojo, M. (2019). Ambiente familiar, actividad física y sedentarismo en preadolescentes con obesidad infantil: estudio ANOBAS de casos-controles. *Atención Primaria*, *52*(4), 250-257. https://doi.org/ 10.1016/j.aprim.2018.05.013

• Artículo de revista con identificador electrónico (eLocator)

Buring, D., Kilteni, K., Rabuffetti, M., Slater, M., y Pia, L. (2019). Body ownership increases the interference between observed and executed movements. *PLOS ONE, 14*(1), Article e0209899. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209899

Comunicación en Congreso

Alonso-Vega, J., Álvarez-Iglesias, A., Ávila-Herrero, I., y Froxán-Parga, M. X. (2019, junio 18). *Verbal interaction analysis of the intervention to an adult with severe behavioral problems* [Presentación de póster]. XVI European Congress of Psychology, Moscú, Rusia. https://doi.org/10.26226/morressier.5cf632bbaf72dec2b055469e

Legislación

Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. *Boletín Oficial del Estado*, 295, de 10 de diciembre de 2013, 97858-97921. http://www.boe.es/boe/dias/2013/12/10/pdfs/BOE-A-2013-12886.pdf

Seminarios impartidos por la Cátedra OSALAN UPV/EHU Medicina y Enfermería del Trabajo María Isabel Bilbao Bengoechea en grados de Medicina y Enfermería de la Universidad del País Vasco (2023-2026) y datos obtenidos

Eneritz Urruzola Loinaz1,3 , Amaia Etxebarria Zabala1,3 , Begoña Salgado Fernández1,3 , Natalia Burgos-Alonso1,2,4 , Amaia Castaños Urcullu1,2,4 , Josu Delgado Naranjo1,2 .

Cátedra de Medicina y Enfermería del Trabajo UPV/EHU-OSALAN María Isabel Bilbao Bengoechea.

Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública. Facultad de Medicina y Enfermería. UPV/EHU.

OSALAN. Instituto Vasco de Salud y Seguridad Laboral. Gobierno Vasco.

Basque Sustainable Pharmacy & Biotherapy Research Group, School of Pharmacy, University of the Basque Country (UPV/EHU), Vitoria-Gasteiz, Spain. Grupo de investigación integradora en salud mental, Instituto Investigación Sanitaria Biobizkaia. Leioa, Basque Country, Spain.

Abstract

La Cátedra OSALAN UPV/EHU Medicina y Enfermería del Trabajo María Isabel Bilbao Bengoechea, creada en el año 2023, lleva realizando Seminarios en los Grados de Medicina y Enfermería de la Universidad del País Vasco, en diferentes Cursos con el fin de difundir las dos especialidades, y que, al ser conocidas por los estudiantes, ayude a que sean elegidas tanto en el MIR como en el EIR. Para ello, se utilizaron desde el comienzo unos Cuestionarios, para poder comparar los resultados obtenidos, que es lo que pretendemos compartir, en un evento como este. Nos parece que podemos sacar conclusiones más amplias, al difundirlas, dado que se produce en un contexto más amplio, que el del mundo sanitario, que es donde están incluidas las dos especialidades. Estas especialidades, van a desarrollar su trabajo dentro de Servicios de Prevención, que están en los lugares de trabajo, y es muy diferente que gran parte de su formación que va a ser hospitalaria.

Estamos en un momento, de cambio, con cada vez menos profesionales, y con el riesgo de cambiar los perfiles de las plazas, ante la falta de profesionales de las dos especialidades nombradas, lo que creo que sería un gran error. Los que conocemos lo que está ocurriendo, estamos obligados a compartir los datos que tenemos, para si puede ayudar a aumentar el número de plazas en la planificación de nuestro país.

Palabras Clave

Salud laboral; Medicina del Trabajo; Enfermería del Trabajo; formación universitaria; elección de especialidad.

1. Introducción

La Cátedra de Medicina y Enfermería del Trabajo, se inició en julio de 2023, y desde el comienzo decidimos iniciar Seminarios para presentar la Cátedra, a la vez que realizar un Cuestionario, para poder obtener Datos, y establecer comparaciones, en diferentes Cursos de los Grados de Medicina y de Enfermería.

El OBJETIVO Final es conseguir que no queden plazas vacantes ni de Medicina del Trabajo, ni de Enfermería del Trabajo, lo que, con las noticias más recientes de 9 de julio de 2026, sigue sin ocurrir.

2. Metodología

Este último año 2026, o tal como lo realizamos en el Curso 2025-2026, se inició el 17 y 24 de octubre de 2025 con Seminarios de Enfermería en Segundo Curso en Leioa y Donostia, a un total de 129 estudiantes.

En los Seminarios de Medicina se realizó en Primer Curso, en Leioa, durante el 24 y 26 de febrero 2026 tanto en el modelo de castellano, como en el de euskera, aprovechando el Seminario para pasar la Encuesta sobre la percepción de conocimientos básicos sobre la especialidad de Medicina del Trabajo, dirigidos a un total de 51 estudiantes de primer curso del Grado en Medicina del Campus de Leioa, con el objetivo de presentar la Cátedra de Medicina y Enfermería del Trabajo UPV/EHUOSALAN María Isabel Bilbao Bengoechea.

Durante el Seminario se realizó una aproximación inicial al conocimiento de la Especialidad de Medicina del Trabajo, trasladando al alumnado la relevancia estratégica de esta especialidad, sus funciones y su papel esencial en la prevención, promoción y protección de la salud de la población trabajadora, así como las múltiples salidas profesionales que ofrece en la actualidad.

Normalmente, acudimos la responsable de la Cátedra, personal con la titulación correspondiente de OSALAN, sea Enfermería o Medicina y cuando es posible, un Profesional en activo de la especialidad, para trasladar su experiencia. En ocasiones, contamos con Residentes de la Especialidad, que, en nuestra experiencia, son los mejores transmisores.

Con el fin de valorar las percepciones y conocimientos previos acerca de la especialidad, se entregó la encuesta al poco de iniciar la sesión.

El 12 de mayo de 2026, tuvimos el último Seminario de este Curso, en la Unidad Docente de Cruces, dirigido a los estudiantes del 5º Curso del Grado de Medicina. Eran alrededor de 100 estudiantes, pero desgraciadamente, hubo un error en la transmisión de las Respuestas de las Encuestas, lo que nos ha privado de estos datos. No lo supimos en el momento, para haber optado a repetirlo, por lo que, para próximas ocasiones, incluiremos asegurar, que están llegando los datos.

3. Resultados y discusión de resultados

RESULTADOS GRADO ENFERMERÍA

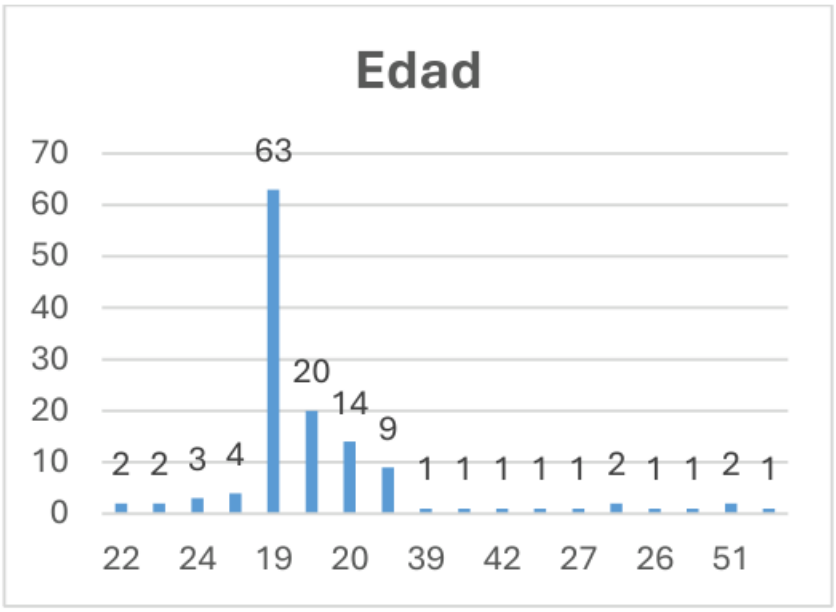
El 17 y 24 de octubre de 2025 se pasó Encuesta sobre la percepción de conocimientos básicos sobre la especialidad de Enfermería del Trabajo a un total de 129 estudiantes de Segundo Curso del Grado de Enfermería del Campus de Leioa y Donostia, se les imparte un Seminario para presentar la Cátedra de Medicina y Enfermería del Trabajo UPV/EHU-OSALAN María Isabel Bilbao Bengoechea. Se realiza un breve acercamiento al conocimiento de la Especialidad de Enfermería del trabajo, trasladando la importancia de la especialidad, sus funciones y las múltiples salidas profesionales que tiene actualmente.

Durante el Seminario, se entrega la encuesta para valorar percepciones y conocimientos acerca de la especialidad de Enfermería del Trabajo.

La distribución del alumnado fue la siguiente:

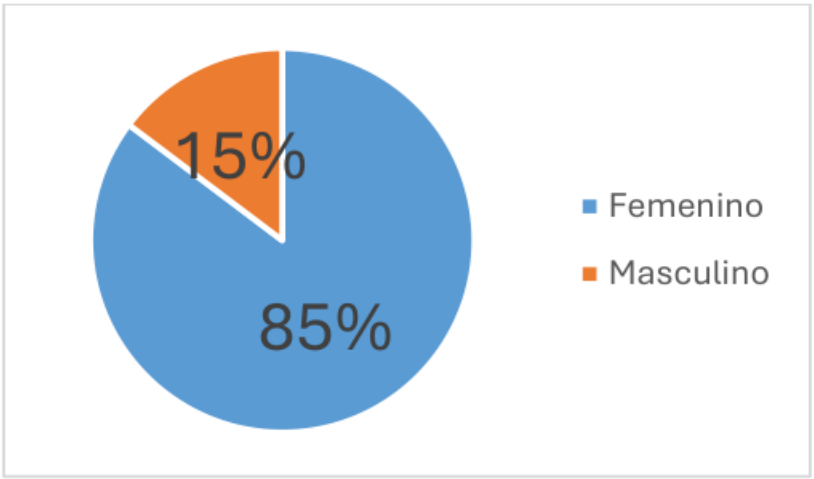
EDAD

La mayoría de los participantes tienen 19 años, coincide con la expectativa de la edad típica de estudiantes de Segundo Curso del Grado en Enfermería.



Sexo

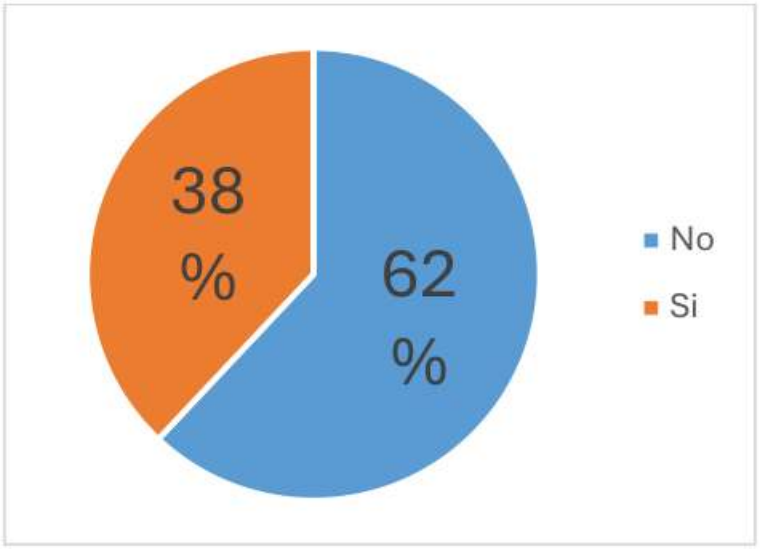
Del de total estudiantes, fueron el 85% mujeres, el 15% hombres.



Las preguntas de la encuesta más concluyentes fueron las siguientes:

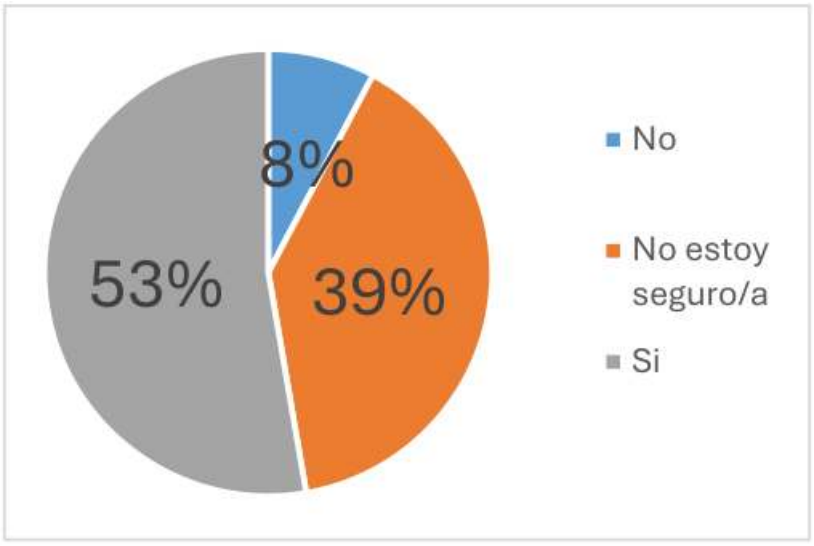
¿Has escuchado previamente sobre las áreas de Enfermería del Trabajo?

Un 62% de los participantes indicaron que no han escuchado previamente sobre estas áreas, mientras que un 38% afirmaron que sí.



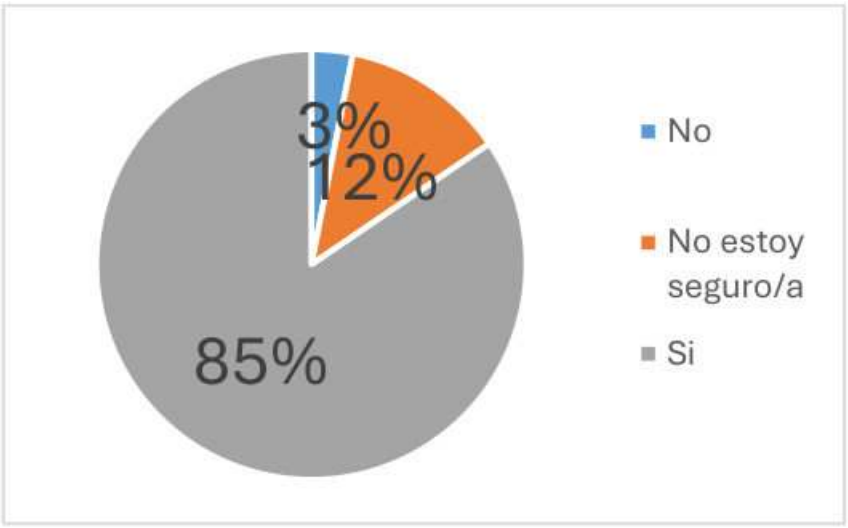
¿Tienes interés en aprender más sobre Enfermería del Trabajo en tu formación académica o profesional?

Un 53% de los participantes están interesados en aprender más sobre el tema, mientras que un 39% aún está indecisa o indeciso, y un 8% reconoce que no tiene interés.



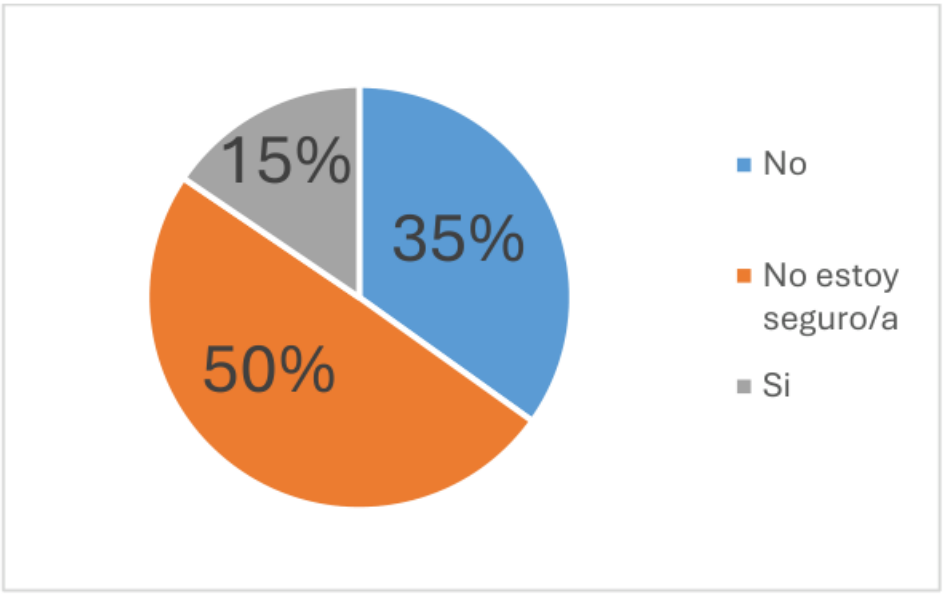
¿Consideras que el conocimiento en Enfermería del Trabajo es importante para tu futura carrera?

El 85% de los participantes considera que sí es importante el conocimiento de la enfermería del trabajo para su futura carrera de enfermería, el 12% no está seguro/a y el 3% no lo considera importante.



¿Considerarías elegir la especialidad de Enfermería del Trabajo para tu formación futura?

Un 50% de los participantes no está seguro de considerar como elección a futuro la especialidad de Enfermería del trabajo, el 35% no está interesado y el 15% sí.



RESULTADOS GRADO MEDICINA

La distribución del alumnado en los 2 Seminarios del 24 y 26 de febrero de 2026 fue la siguiente:

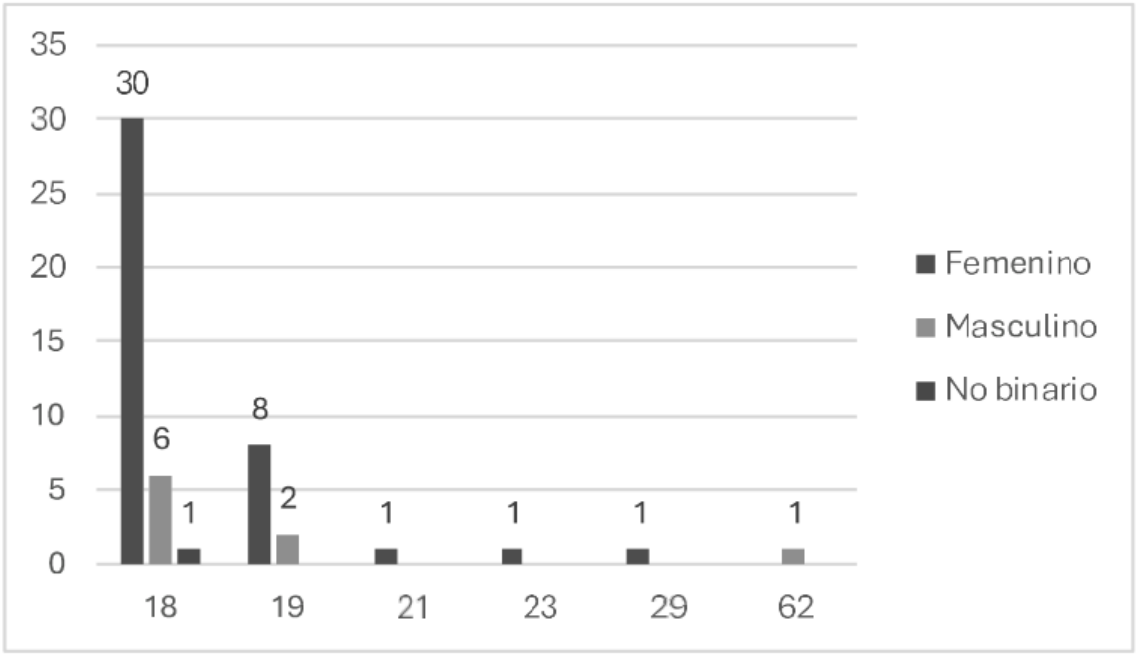
Edad

La mayoría de los participantes tienen 18 años, lo que coincide con la edad habitual del alumnado de primer curso del Grado en Medicina. Esto sitúa la intervención en un momento especialmente relevante, ya que permite acercar la especialidad en una etapa temprana de su formación académica.

Sexo

Del total de estudiantes, fueron el 80,3% mujeres, el 19,6% hombres y 0,1 % no binario.

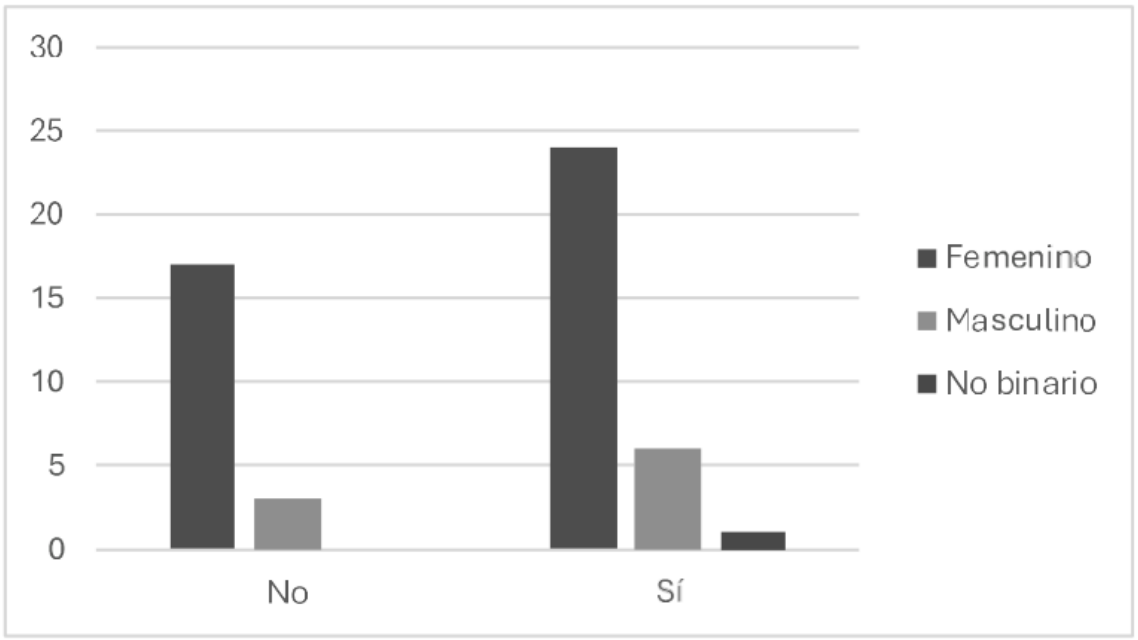
Esta distribución refleja la realidad actual de creciente feminización en los estudios de Ciencias de la Salud.



Las preguntas de la encuesta más concluyentes fueron las siguientes:

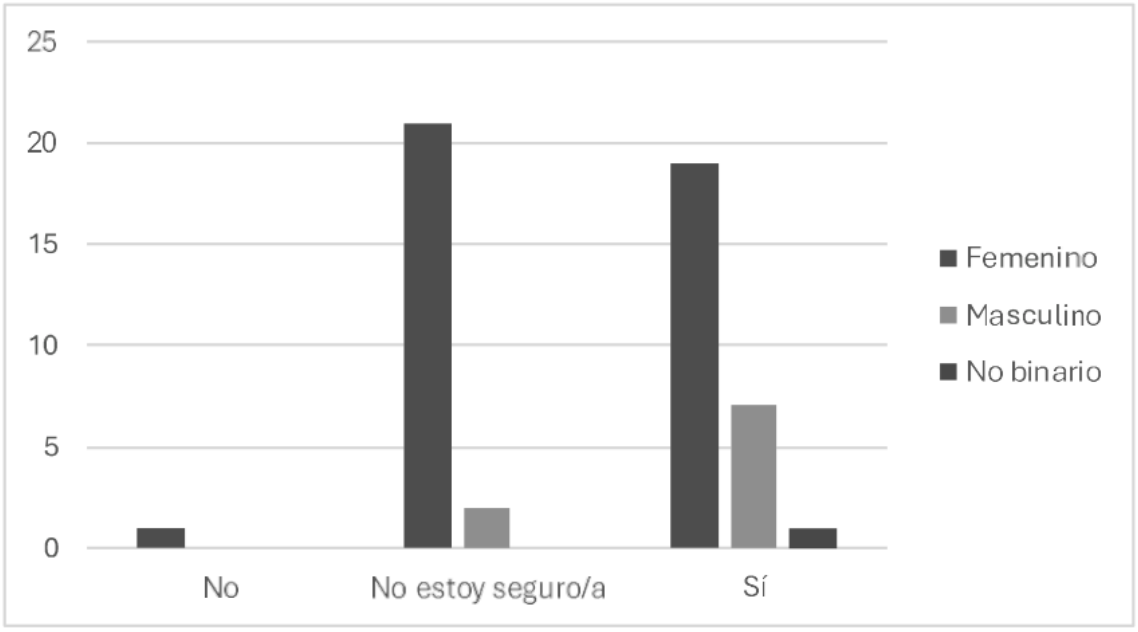
¿Has oído hablar de las especialidades de Medicina del Trabajo antes de completar este cuestionario?

Un 40% de los participantes indicaron que no han escuchado previamente sobre estas áreas, mientras que un 60% afirmaron que sí.



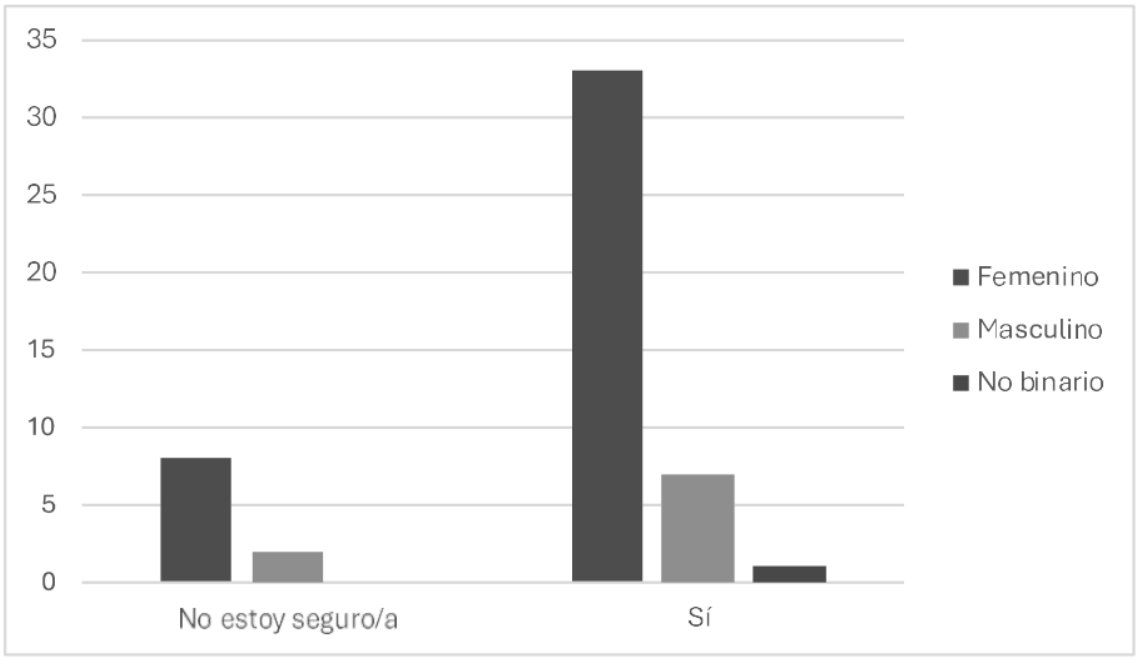
¿Tienes interés en aprender más sobre Medicina del Trabajo en tu formación académica o profesional?

Un 52,5% de los participantes están interesados en aprender más sobre el tema, mientras que un 45,5% aún está indecisa o indeciso, y un 2% reconoce que no tiene interés.



¿Consideras que el conocimiento en Medicina del Trabajo es importante para tu futura carrera?

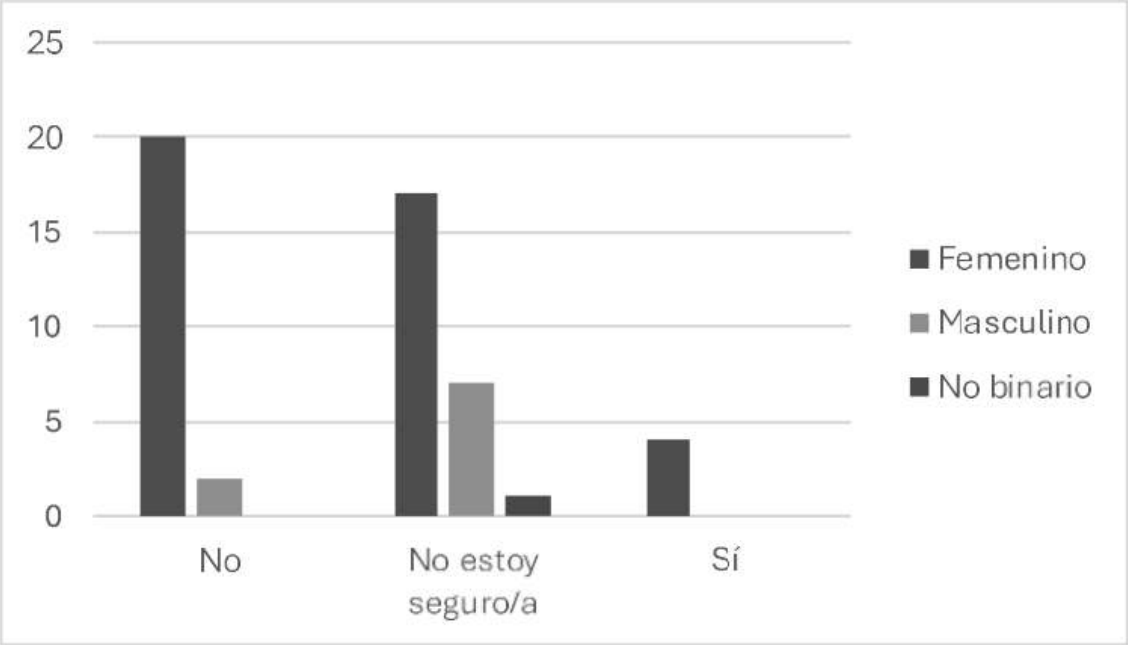
No hay nadie que no lo considere importante, un 80% sí lo considera importante y un 20% aún no lo tiene claro.



¿Considerarías elegir la especialidad de Medicina del Trabajo para tu formación futura?

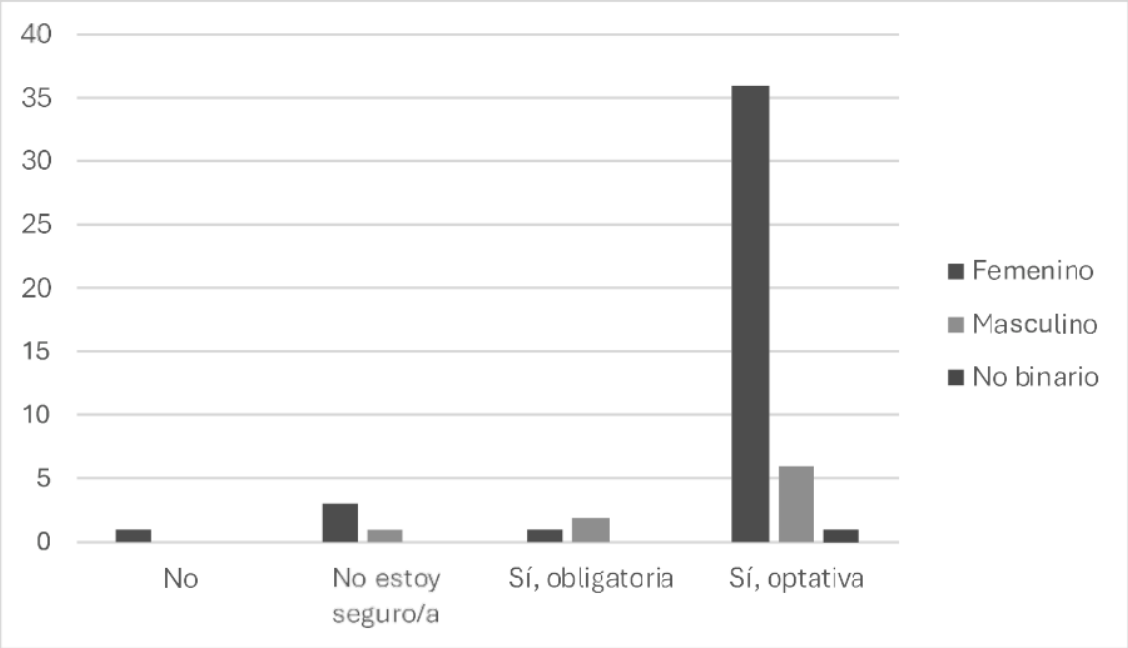
El 7,8% considera elegir esta especialidad, 49,06% no lo tiene claro y el

43,1%no lo considera.



¿Recomendarías que se incluyera en el Grado de Medicina y Enfermería alguna asignatura específica sobre Salud Laboral?

El 84,3% recomendaría que se incluyera como asignatura optativa en el Grado de Medicina.



SITUACIÓN EN EL AÑO 2026 TRAS LA ADJUDICACIÓN EXTRAORDINARIA

Tal como se recoge en Gaceta Médica de 9 de julio de 2026, “el procedimiento extraordinario de adjudicación de plazas de Formación Sanitaria Especializada (FSE) correspondiente a la convocatoria 2025/2026 se ha cerrado con 213 plazas vacantes, pese a la nueva oferta lanzada por el Ministerio de Sanidad para cubrir las plazas que habían quedado desiertas tras la adjudicación ordinaria”.

Hubo 441 plazas que habían quedado libres, por renuncias expresas o por la no incorporación de personas aspirantes con plaza adjudicada, para ofertarse. según información del Ministerio. Finalmente se han adjudicado 228, lo que supone el 51,7 por ciento del total.

Quedan sin cubrir en el caso de Medicina:

Medicina Familiar y Comunitaria siendo la especialidad con más dificultades para completar su oferta, al mantener 120 vacantes tras finalizar este procedimiento extraordinario. También permanecen plazas sin adjudicar en Medicina Preventiva y Salud Pública, Medicina del Trabajo, Geriatría, Medicina Interna, Microbiología y Parasitología y Nefrología. Además de una plaza de Medicina de Urgencias y Emergencias y otra de Cirugía Pediátrica.

Quedan sin cubrir en el caso de Enfermería:

La adjudicación extraordinaria también se ha cerrado con vacantes en Enfermería. En total, permanecen sin cubrir 52 plazas, principalmente en Enfermería Geriátrica, Enfermería Familiar y Comunitaria y Enfermería de Salud Mental, además de otras correspondientes a Enfermería del Trabajo y Enfermería Obstétrico-Ginecológica.

El Ministerio de Sanidad ha indicado que continuará analizando junto con las comunidades autónomas «la evolución de las plazas no cubiertas y los factores que influyen en la elección, adjudicación e incorporación efectiva de residentes».

También señala que el objetivo de este análisis es «seguir mejorando la planificación de la oferta formativa, reforzar la coordinación con las comunidades autónomas y avanzar en una distribución de plazas ajustada a las necesidades del Sistema Nacional de Salud».

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos nos permiten extraer una idea clara, tanto la Enfermería del Trabajo, como la Medicina del Trabajo siguen siendo especialidades poco visibles, no por falta de relevancia, sino por falta de presencia explícita en el itinerario formativo. Sin embargo, el interés mostrado por el estudiantado demuestra que existe una base sólida sobre la que construir un mayor conocimiento y una posible motivación vocacional.

Se ha identificado una necesidad de mayor conocimiento tanto en el área de Enfermería del Trabajo como Medicina del Trabajo. Aunque una gran parte no estaba familiarizada con la especialidad y sus funciones, sí mostró interés en aprender más sobre ellas.

Es especialmente significativo que, aun cuando una parte del alumnado no conocía en profundidad la especialidad, la mayoría reconoce su importancia para la práctica y desee saber más. Esto indica que el desconocimiento no implica desinterés, sino simplemente ausencia de información.

Desde el punto de vista educativo, introducir las Especialidades desde el Grado, permite ampliar la comprensión de la profesión más allá de los escenarios tradicionales. Ejercerlas abarca también la prevención de enfermedades, la promoción de la salud, la identificación y gestión de riesgos laborales, la intervención en distintos contextos profesionales y la protección del bien estar de la población trabajadora. Conocer estas dimensiones enriquece la comprensión global de la profesión.

Se presenta como una oportunidad para que todos los agentes implicados, tanto docentes como profesionales, desarrollen más iniciativas que aumenten el conocimiento y la importancia de las especialidades.

Asimismo, la alta aceptación de una posible asignatura específica de Salud Laboral evidencia que el estudiantado percibe esta materia como un complemento necesario para una formación

integral. Integrar estos contenidos no supone sobrecargar el Plan de Estudios, sino dotarlo de mayor coherencia con la realidad social y laboral en la que ejercerán su futura profesión.

En definitiva, reforzar la visibilidad de las dos Especialidades, no es únicamente una cuestión de promoción de cada especialidad, sino una acción formativa orientada a ofrecer al estudiantado información completa, opciones reales y referentes claros. De esta forma se permitirá que quienes puedan sentirse identificados con este ámbito descubran su potencial, y que el conjunto del alumnado incorpore una visión más amplia, preventiva y social de la Salud Laboral.

Si bien una parte relevante del alumnado no contaba con un conocimiento detallado previo sobre la especialidad, la mayoría manifiesta que la considera importante para su futura práctica profesional y expresa interés en profundizar en ella. Asimismo, el alto porcentaje de estudiantes que aún no ha definido su elección de especialidad no debe entenderse como falta de motivación, sino como una oportunidad para impulsar acciones de información, acompañamiento y orientación vocacional que faciliten una toma de decisiones más consciente y fundamentada.

Los resultados evidencian que este tipo de Seminarios resultan útiles y bien valorados, ya que permiten acercar la realidad de la especialidad, desmontar posibles desconocimientos y mostrar sus amplias posibilidades profesionales en ámbitos clínicos, preventivos, empresariales, docentes y de gestión.

En consecuencia, se considera recomendable continuar impulsando iniciativas académicas, seminarios y posibles asignaturas optativas que integren la Salud Laboral dentro del itinerario formativo, contribuyendo así a que las Especialidades ocupen el lugar que les corresponde como especialidades estratégicas, transversales y de alto impacto social.

Los Seminarios impartidos ya que han sido valorados positivamente tanto por estudiantes como por docentes, nos sugieren que estas actividades son útiles y enriquecedoras y que deberían continuar formando parte de la formación de estudiantes de Grado.

Bibliografía

El estudio utiliza los cuestionarios y resultados de los seminarios impartidos por la Cátedra OSALAN UPV/EHU Medicina y Enfermería del Trabajo María Isabel Bilbao Bengoechea en los grados de Medicina y Enfermería durante el periodo 2023-2026.

Impacto de la exposición al ruido en la pérdida auditiva de trabajadores de perforación en CIA Minera Poderosa (2025)

Impact of noise exposure on hearing loss among drilling workers at CIA Minera Poderosa (2025)

Eduardo David Chávez Guzmán, Bach.[1]

[1] Escuela de Ingeniería de Minas, Facultad de Ingeniería, Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.

* Eduardo David Chávez Guzmán: educhavez138@hotmail.com

Abstract

La hipoacusia inducida por ruido constituye una de las patologías ocupacionales de mayor incidencia en la minería subterránea, exacerbada por el uso de maquinaria neumática en entornos confinados.

El presente estudio tuvo como objetivo determinar el impacto de la exposición al ruido en la capacidad auditiva de los perforistas y ayudantes en la Compañía Minera Poderosa S.A. durante el año 2025.

Para ello, se realizó una investigación cuantitativa de diseño transversal y descriptivo, evaluando una muestra de 30 trabajadores mediante dosimetría personal bajo la norma ISO 9612:2009 y el análisis de registros audiométricos clínicos.

Los resultados revelaron un nivel de exposición promedio detectado (Leq) de 107.19 dB, superando drásticamente el límite legal de 85 dB. Se identificó que, a pesar del uso de protección personal, el nivel atenuado promedio alcanzó los 97.86 dB, manteniendo al 77% del personal en riesgo crítico y confirmando un daño auditivo avanzado en el 63.3% de la muestra en frecuencias de 4000 Hz.

Se concluye que la exposición severa influye significativamente en la pérdida auditiva y el desempeño laboral, evidenciando la ineficacia de los controles actuales y la urgencia de implementar soluciones de ingeniería en la fuente.

Abstract en inglés

Noise-induced hearing loss is one of the most prevalent occupational diseases in underground mining, exacerbated by the use of pneumatic machinery in confined environments.

This study aimed to determine the impact of noise exposure on the hearing capacity of drillers and helpers at Compañía Minera Poderosa S.A. during 2025.

A quantitative study with a cross-sectional and descriptive design was conducted, evaluating a sample of 30 workers through personal dosimetry according to ISO 9612:2009 and the analysis of clinical audiometric records.

Results showed an average exposure level (Leq) of 107.19 dB, drastically exceeding the legal limit of 85 dB. It was identified that, despite the use of personal protection, the average attenuated level reached 97.86 dB, keeping 77% of the personnel in a critical risk condition and confirming advanced hearing damage in 63.3% of the sample at 4000 Hz frequencies.

The study concludes that severe exposure significantly influences hearing loss and work performance, evidencing the ineffectiveness of current controls and the urgency of implementing engineering solutions at the source.

Palabras Clave

Ruido ocupacional, Minería subterránea, Hipoacusia inducida por ruido, Perforación, Salud Ocupacional. Occupational noise, Underground mining, Noise-induced hearing loss (NIHL), Drilling, Occupational health.

1. Introducción

La hipoacusia inducida por ruido sigue siendo una de las enfermedades ocupacionales más frecuentes en la minería global y, paradójicamente, una de las más subestimadas: se instala de forma progresiva e indolora hasta generar un daño neurológico irreversible (National Institute on Deafness and Other Communication Disorders [NIDCD], 2023). El sector minero peruano no es ajeno a esta incidencia patológica. En operaciones como Antamina se han identificado riesgos acústicos relevantes que motivaron rigurosos monitoreos continuos (Antamina, 2021); en Quiruvilca, la minería informal ha expuesto a trabajadores sin ningún tipo de barrera acústica (Saldarriaga, 2020); y en Shougang Hierro Perú se han documentado judicialmente casos de hipoacusia neurosensorial bilateral severa asociados a la exposición laboral (Corte Superior de Justicia de Lima, 2024).

Dentro del ciclo de minado, la perforación representa una de las tareas de mayor criticidad acústica al combinar el uso de maquinaria neumática pesada, confinamiento del espacio y jornadas prolongadas. Estudios paramétricos en Ecuador (Caamaño et al., 2018) y en Perú (Mamani, 2019) han registrado exposiciones de hasta 107.5 dB en perforistas, superando ampliamente los límites normativos de higiene industrial. No obstante, la literatura indica que el riesgo no depende exclusivamente de la intensidad de la fuente sonora, sino de la eficiencia operativa del programa preventivo. Estudios previos han demostrado que, mediante una supervisión técnica estricta del Equipo de Protección Personal (EPP), es posible neutralizar la relación estadística entre el nivel sonoro ambiental y el deterioro clínico (Zencovich Rodríguez, 2020).

En CIA Minera Poderosa, las labores de perforación subterránea exponen al personal a presiones sonoras extremas. A pesar de la dotación de EPP, existe un vacío de conocimiento respecto a si estas medidas estandarizadas logran atenuar efectivamente el desarrollo de la Hipoacusia Inducida por Ruido (HIR) o si el trauma acústico continúa progresando de forma inadvertida debido a falencias en la gestión preventiva (Tumpay Quispe, 2021).

El objetivo principal de este estudio fue determinar el impacto de la exposición al ruido en la pérdida auditiva de los trabajadores perforistas y ayudantes en esta unidad minera. Como objetivos secundarios, se propuso cuantificar instrumentalmente los niveles de ruido ocupacional, evaluar la condición clínica auditiva de los operarios y analizar la sintomatología y el impacto en el rendimiento laboral reportado en campo

Métodos

2. Metodología

Se diseñó una investigación de enfoque cuantitativo, no experimental, transversal y de alcance descriptivo. El entorno de aplicación abarcó los frentes de operaciones subterráneas de la compañía

La población de estudio se definió mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, logrando una muestra final de 30 trabajadores. Los criterios de inclusión exigieron: un año mínimo de experiencia en el cargo, exposición continua a maquinaria neumática y la firma del consentimiento informado.

La recolección de datos se estructuró en tres fases para medir los desenlaces primarios y secundarios:

Medición instrumental: Se empleó un dosímetro personal de precisión clase 1, calibrado conforme a la norma internacional ISO 9612:2009. Se registró el nivel equivalente de presión sonora (Leq) y se proyectó la atenuación teórica del EPP frente al Límite Máximo Permisible (LMP) de 84.7 dB, normado para jornadas de 8.5 horas en Perú (D.S. N.º 024-2016-EM).

Encuesta estructurada: Aplicación de un cuestionario para cuantificar la percepción del tiempo de exposición, adherencia al uso del EPP, sintomatología física y afectación en la operatividad.

Análisis clínico audiométrico: Revisión documental de fichas médicas ocupacionales, analizando los umbrales de audición en las frecuencias de 500, 1000, 2000 y 4000 Hz. Se estableció como indicador de alteración patológica un umbral auditivo superior a 25 dB.

El estudio respetó todos los lineamientos éticos de la Declaración de Helsinki y la Ley N.º 29733 de Protección de Datos Personales del Perú. Se garantizó la confidencialidad absoluta de los registros clínicos y operativos de los participantes.

Para el tratamiento estadístico se utilizó el software RStudio. Las métricas continuas de ruido ambiental se procesaron mediante estadística descriptiva. Las variables clínicas y sintomatológicas se analizaron determinando frecuencias absolutas y relativas para definir la proporción de personal en estado de riesgo crítico.

3. Resultados y discusión de resultados

Los registros del monitoreo dosimétrico evidenciaron una exposición acústica severa. El nivel de presión sonora ambiental (Leq) arrojó un promedio de 107.19 dB. Tras aplicar el factor de corrección por atenuación del EPP, la exposición real del trabajador promedió 97.86 dB. En la Tabla 1 se presenta la parametrización descriptiva de estas mediciones.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la exposición al ruido ocupacional

Estadístico	Nivel de Ruido Ambiental Leq (dB)	Nivel Atenuado con EPP (dB)
Media	107.19	97.86
Mediana	110.10	101.10
Mínimo	84.00	75.00
Máximo	120.70	111.70
Desviación Estándar	11.49	11.79

Nota: Se estableció un Límite Máximo Permisible (LMP) de 84.7 dB para una jornada de 8.5 horas.

Estos datos indican que, aun utilizando los equipos de protección proporcionados, el 77% de los trabajadores continuaron operando por encima de los límites máximos permisibles, en una condición de riesgo crítico.

En relación con la evaluación clínica, el análisis de las fichas audiométricas evidenció un marcado deterioro en los umbrales auditivos de la población. La Tabla 2 resume la proporción de trabajadores que

presentaron niveles por encima del umbral de referencia (>25 dB) en el oído derecho, destacando la afectación patológica en diferentes frecuencias.

Tabla 2. Afectación audiométrica y sintomatología reportada

Indicador Evaluado	Frecuencia Absoluta	Frecuencia Relativa
Umbral auditivo >25 dB en 4000 Hz	19	63.3%
Umbral auditivo >25 dB en 500 Hz	23	77.0%
Reporte de tinnitus al final de la jornada	9	30.0%
Sensación de fatiga mental debido al ruido	14	46.7%
Errores operativos por deficiencias de comunicación	7	23.0%

Nota: Datos recopilados a partir del análisis audiométrico documental y encuestas estructuradas.

Finalmente, a través de las encuestas estructuradas, se constató que la eficacia teórica de los EPP se ve comprometida en la práctica: el 33.3% de los trabajadores reconoció que interrumpe el uso de sus protectores auditivos durante la jornada debido al estrés térmico o la incomodidad ergonómica, exponiéndose directamente al ambiente acústico hostil.

Discusión

Los hallazgos de este estudio demuestran que los niveles de ruido ambiental (107.19 dB) en los frentes de perforación superan drásticamente los umbrales de salud ocupacional. Estas métricas son congruentes con los datos reportados por Caamaño et al. (2018) en minería ecuatoriana y por Mamani (2019) en operaciones peruanas. El factor más alarmante identificado es que, a diferencia de yacimientos con sistemas de gestión preventiva altamente consolidados (De Guevara, 2023), la estrategia basada únicamente en la provisión de EPP resulta inoperante en esta organización; un nivel atenuado de 97.86 dB expone una falla técnica sistémica en la gestión del riesgo.

Desde la perspectiva clínica, la afectación en las frecuencias de 4000 Hz (63.3%) es el indicador patognomónico de la HIR. No obstante, la amplia alteración detectada en frecuencias bajas (77% en 500 Hz) advierte sobre un deterioro profundo y crónico, evidenciando que el daño neurológico ha superado las etapas tempranas de la enfermedad (Antoni, 2022).

Este deterioro fisiológico presenta una clara asociación con la sintomatología psicosocial descrita por los operarios, respaldando la literatura que clasifica al ruido como un disruptor neurocognitivo (Casal et al., 2022). Los índices de fatiga mental (46.7%) y, más críticamente, los errores operativos reportados (23%), ratifican que el ruido ocupacional trasciende la categoría de riesgo higiénico para consolidarse como un vector directo de accidentabilidad, comprometiendo severamente las redes de comunicación táctica en el entorno subterráneo (Carranco et al., 2022).

Entre las fortalezas de este trabajo destaca el rigor instrumental mediante dosimetría in situ bajo estándares ISO. Como limitación metodológica se reconoce el diseño transversal, el cual restringe la capacidad de aislar variables preexistentes o factores de riesgo extralaborales (Vargas, 2020). Asimismo, la muestra de 30 sujetos sugiere precaución al extrapolar los datos a

la totalidad de la industria; sin embargo, la robustez de los hallazgos locales otorga alta credibilidad al diagnóstico técnico presentado.

4. Conclusiones

La exposición sostenida a niveles extremos de ruido durante las labores de perforación tiene un impacto directo y perjudicial en la capacidad auditiva de los trabajadores, confirmando una elevada prevalencia de daño audiométrico. Se concluye, además, que la protección auditiva basada únicamente en equipos personales es ineficaz frente a las magnitudes acústicas registradas, dejando al personal vulnerable no solo a la sordera, sino a fatiga y riesgos de seguridad por incomunicación.

Estos resultados contribuyen al avance de la higiene industrial minera al cuantificar empíricamente el fracaso de las medidas de control estándar en tareas de perforación. Como futuras líneas de

investigación, se requiere con urgencia el desarrollo de estudios longitudinales que evalúen la implementación y eficacia de controles de ingeniería directos en la maquinaria (silenciadores, encapsulamientos) y su impacto en la disminución efectiva del deterioro auditivo.

Bibliografía

Antamina. (2021). Reporte de Sostenibilidad. https://www.antamina.com/wp-content/uploads/2022/07/reporte-de-sostenibilidad-2021.pdf

Antoni, C. P. L. (2022). Efecto del ruido laboral en la salud de los trabajadores y su mitigación en las operaciones de la Constructora Meneses S.R.L., Unidad Minera Raura [Tesis, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio Institucional UNJBG. https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/3855

Caamaño, G. F., Cueva, E. T., Segovia, K. E., Ulloa, C. A., & León, D. G. (2018). Exposición al ruido en el puesto de trabajo de perforista en una mina subterránea en el distrito minero Zaruma-Portovelo. Carácter Revista Científica De La Universidad Del Pacífico, 6(1). https://doi.org/10.35936/caracter.v6i0.39

Carranco, J., Ordóñez, C., Bustos, S., & Toalombo, V. (2022). Ruido ocupacional y su impacto en la salud auditiva de los trabajadores de minería subterránea. Revista Tesla, 45–56. https://tesla.puertomaderoeditorial.com.ar/index.php/tesla/article/view/251

Casal, B., Jasso, N., Preciados, R., & Reinoso, K. (2022). Pérdida auditiva y exposición laboral a ruido en minería: una revisión sistemática. Medicina y Seguridad del Trabajo, 68(266), 36-55. https://doi.org/10.4321/s0465-546x2022000100004

Corte Superior de Justicia de Lima. (2024). Expediente N° 00050-2019-0-1801-JR-LA-05. https://img.lpderecho.pe/wp-content/uploads/2024/02/Exp.-00050-2019-0-LPDerecho.pdf

De Guevara, J. C. (2023). Efecto de la exposición al ruido en el diagnóstico de hipoacusia laboral en trabajadores del área de perforación y voladura de un mina a tajo abierto del Sur del Perú, 2022 [Tesis, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio UCSM. https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/3d53412b-f3eb-486b-bc02-4a399842e367

Mamani, E. C. (2019). Estimación de los riesgos auditivos de los trabajadores del Área de Perforaciones 2017 (Estudio realizado en la empresa A. K. Drilling Internacional S. A. – Operación de Máquina SCHRAMM T660-H) [Tesis, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio Institucional UTP. https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2330

National Institute on Deafness and Other Communication Disorders [NIDCD]. (2023). Pérdida de audición inducida por el ruido. https://www.nidcd.nih.gov/es/espanol/perdida-de-audicion-inducida-por-el-ruido

Saldarriaga, J. (2020, 6 de enero). Quiruvilca dejaría de ser foco de informalidad y contaminación. El Comercio. https://elcomercio.pe/economia/dia-1/plata-quiruvilca-dejaria-de-ser-foco-de-informalidad-y-contaminacion-mineria-informal-noticia/

Tumpay Quispe, K. L. (2021). Propuesta de mejora del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo para prevenir accidentes laborales en una empresa constructora, Lima, 2021 [Tesis, Universidad Latinoamericana CIMA]. ALICIA CONCYTEC. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/ULAS_cafb22b53c20d74969f2da1a911b2150/Details

Vargas San Jorge, E. (2020). Factores asociados a la pérdida auditiva en los trabajadores expuestos a ruidos. Empresa JJCC-SCHRADR CAMARGO SAC, Arequipa 2019 [Tesis, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio UCSM. https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/a2e32d5e-0228-46d3-9845-c23caf19d621

Ministerio de Energía y Minas. (2016). Decreto Supremo N.º 024-2016-EM. Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería. Diario Oficial El Peruano.

Zencovich Rodríguez, B. (2020). Estudio de prevalencia de daño auditivo en una empresa minera de la Región Metropolitana año 2018 [Tesis, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/181041

Inspecciones de puesto de trabajo con Ergo IA: impactos de su implementación

José Ignacio Enríquez García[a], Gilson Fabián Bustamante Vargas[b]

[a]SURETY SST, Santiago de Cali, Colombia

[b]SURETY SST, Santiago de Cali, Colombia

*Autor de referencia: jose.enriquez@suretysst.com.co | fabianocupacional@gmail.com

Abstract

Antecedentes. Los trastornos musculoesqueléticos representan uno de los principales retos laborales, la OMS reporta 1.710 millones de afectados y 570 millones de casos de dolor lumbar; en Colombia, el 79,2 % de los trabajadores presentan síntomas osteomusculares. Además, las inspecciones de puesto de trabajo han requerido alta experticia, tiempo y presentan variabilidad subjetiva.

Objetivo. Demostrar las ventajas estratégicas, operativas y económicas del uso del software Ergo IA del IBV para la gestión del riesgo biomecánico de postura en empresas colombianas.

Método. Estudio descriptivo basado en 225 inspecciones de puesto de trabajo con Ergo IA, entre 2023 y 2026, en 22 empresas del sector productivo colombiano. Se aplicaron las metodologías REBA, OWAS y RULA mediante análisis asistido por inteligencia artificial.

Resultados. REBA fue la metodología más utilizada (57,8 %), seguida de OWAS (22,2 %) y RULA (20 %). El 32,9 % de las evaluaciones se clasificaron en riesgo crítico o urgente y el 40 % en riesgo medio. El uso de IA permitió reducir en un 75 % los tiempos del profesional especializado, disminuir en un 40 % los costos de evaluación y eliminar el 100 % de los desplazamientos del profesional especializado gracias al análisis remoto. Se obtuvieron datos más objetivos, precisos y replicables, facilitando la priorización, toma de decisiones y el seguimiento del riesgo en el tiempo.

Conclusión. Ergo IA constituye una herramienta innovadora para la vigilancia ergonómica, optimiza recursos, reduce costos y fortalece la gestión objetiva del riesgo biomecánico, contribuyendo a entornos laborales más seguros, eficientes y sostenibles.

Palabras Clave

Ergo IA, riesgo biomécanico, REBA, RULA, OWAS, inteligencia artificial, SST Ergo IA, riesgo biomecánico, REBA, RULA, OWAS, inteligencia artificial, SST

1. Introducción

El presente trabajo de investigación en vigilancia epidemiológica del peligro biomecánico de postura con inteligencia artificial, pretende generar conocimiento científico de los beneficios del uso de la inteligencia artificial en la prevención de enfermedades o lesiones osteomusculares. Muchos estudios y conferencias describen que es útil sin una evidencia con muestras representativas; eso nos motivó a realizar un estudio en donde se analizaron 225 inspecciones de puestos de trabajo (IPT) en 22 empresas de diferentes sectores productivos en 7 ciudades de Colombia, pasando del método tradicional de IPT de peligro de postura a ser abordada con inteligencia artificial implementada en el software ERGO IA del Instituto Biomecánico de Valencia (IBV), mediante inteligencia generativa usando los algoritmos de metodologías ergonómicas reconocidas internacionalmente como REBA (Hignett & McAtamney, 2000), RULA (McAtamney & Corlett, 1993) y OWAS (Observation Worksite Analysis System), permitiendo realizar diagnósticos del riesgo biomecánico de postura más precisos, objetivos, eficientes y replicables en organizaciones de todos los sectores para acciones preventivas o correctivas.

En los entornos laborales las enfermedades o lesiones osteomusculares por exposición al riesgo biomecánico constituyen uno de los mayores retos. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) reportó 1.710 millones de personas afectadas y 570 millones de casos de dolor lumbar; estudios colombianos (Sánchez Medina, 2018) evidencian que la prevalencia de síntomas osteomusculares en trabajadores puede alcanzar valores superiores al 79,2%, especialmente en cuello, hombros y zona lumbar. Asimismo, investigaciones latinoamericanas recientes (Ibarra et al., 2024) muestran que el 83,2 % de los trabajadores están expuestos a movimientos repetitivos y el 70,6 % presenta niveles de riesgo biomecánico alto, lo que confirma una alta exposición a este factor de riesgo.

A nivel bibliométrico, Nugroho et al. (2026) analizaron 225 estudios publicados entre 2002 y 2024 sobre métodos de evaluación ergonómica basados en IA e IoT, constatando un crecimiento exponencial de publicaciones desde 2020 (de 21 a 45 artículos en 2024) y una rápida integración de sensores inalámbricos, aprendizaje automático y visión computacional en la evaluación de riesgos musculoesqueléticos. Su análisis identificó tres fases evolutivas: observación manual (2002-2010), métodos semiautomatizados (2011-2016) e integración de sistemas inteligentes (2017-2024). En la misma línea, Safari et al. (2025), en una revisión sistemática de 19 estudios publicados entre 2013 y 2023, encontraron que el 68 % de las investigaciones desarrollaron herramientas de evaluación de riesgo basadas en IA, machine learning o sensores del Internet de las Cosas, confirmando que estas tecnologías mejoran la precisión y la velocidad del proceso de evaluación frente a los métodos observacionales tradicionales. El presente estudio se enmarca precisamente en esta tercera fase, contribuyendo desde un contexto latinoamericano.

La creciente evidencia de estudios internacionales respalda la transición hacia métodos de evaluación ergonómica apoyados en tecnología. En el sector de manufactura, Quesada Díaz et al. (2026) compararon sistemas de captura de movimiento basados en visión computacional (CV) e Unidades de Medición Inercial (IMU), concluyendo que los sistemas basados en visión pueden generar datos de postura y movimiento adecuados para evaluaciones ergonómicas de medición directa en entornos industriales. Del mismo modo, en el sector salud, Khanagar et al. (2026) desarrollaron y validaron el modelo SBK-DentErgo que integra YOLOv11 y MediaPipe, demostrando alta sensibilidad (97%) y especificidad (85,7%) en la clasificación de posturas ergonómicas.

Estos resultados refuerzan la viabilidad y necesidad del uso de modelos de IA para la evaluación ergonómica objetiva en diferentes contextos ocupacionales, resultando relevantes para el presente estudio en el contexto colombiano, apoyado en el uso de Ergo IA del IBV, el

cual emplea algoritmos de IA sobre video para estimar posturas y calcular puntuaciones de metodologías como REBA, OWAS y RULA de forma automática.

Sobre la estrategia de vigilancia epidemiológica con IPT, estas han demandado tradicionalmente alta experticia, tiempo y presentan variabilidad subjetiva. Ante este contexto, "las tecnologías basadas en inteligencia artificial se han posicionado como aliadas estratégicas, ya que facilitan la recopilación y procesamiento de datos biomecánicos mediante sensores, cámaras y algoritmos entrenados para reconocer patrones posturales" (Ramón y del Castro, 2025). En relación a los impactos, no se ha logrado documentar de una manera cuantificable a nivel sudamericano las ventajas, retos o dificultades derivadas de la implementación de la IA para la gestión del riesgo biomecánico.

Como objetivo del estudio nos planteamos demostrar las ventajas estratégicas, operativas y económicas del uso del software Ergo IA del IBV para la gestión del riesgo biomecánico de postura en empresas colombianas, en consonancia con la postura de Larez y Maribao (2025): "la IA como herramienta de captura y análisis de datos, y el ergonomista como autoridad técnica capaz de interpretar, validar y traducir esos resultados en decisiones correctivas". Para ello se caracterizaron las IPT realizadas, se cuantificaron los resultados obtenidos en las 225 inspecciones y se analizaron las ventajas frente a los métodos tradicionales.

2. Metodología

El presente estudio es de carácter descriptivo mediante un enfoque cuantitativo. "La investigación descriptiva la llevamos a cabo cuando queremos mostrar las características de un grupo, de un fenómeno o de un sector, a través de la observación y medición de sus elementos" (Lafuente & Marín, 2008); así mismo, el enfoque cuantitativo "nos va a proporcionar datos numéricos concretos". El diseño metodológico escogido se ajusta al objetivo del estudio, siendo este trabajo el punto de partida para una siguiente línea de investigación.

Las inspecciones de puestos de trabajo se realizaron con el software Ergo IA del IBV, desarrollado y validado por el Instituto de Biomecánica de Valencia, entidad de reconocimiento científico internacional con certificaciones internacionales de ciberseguridad, lo que otorga rigor metodológico al presente estudio. En Ergo IA se analizaron videos de trabajadores en sus puestos de trabajo desempeñando una tarea o subtarea, con secuencias completas de las posturas del trabajador. El software acepta videos grabados desde cualquier tipo de dispositivo, considerando las siguientes recomendaciones del IBV (Instituto Biomecánico de Valencia [IBV], 2023):

- Encuadre: En el centro de la imagen debe verse el cuerpo completo del trabajador.

- Indumentaria: Los brazos y las piernas deben verse lo mejor posible; se recomienda evitar ropa de trabajo como batas, delantales, etc.

- Zoom: El trabajador debe ocupar la mayor parte de la imagen, con un tamaño mayor de la mitad del ancho o alto del encuadre.

- Un único trabajador: No deben aparecer varios trabajadores en el vídeo.

- Evitar las vibraciones: Siempre que sea posible se debe emplear un trípode para evitar movimientos no deseados en el vídeo.

- Enfoque: se debe vigilar el enfoque de la cámara para asegurar la correcta nitidez de la imagen.

- Contraste: se debe buscar el mayor contraste de color entre el trabajador y el fondo de la escena.

- Evitar ocultaciones: en la medida de lo posible se evitarán las ocultaciones totales o parciales de las partes del trabajador que tengan que analizarse.

El procedimiento para realizar IPT mediante el software de Ergo IA define los siguientes pasos:

1. Entrevista: Realiza entrevista al trabajador y firma del consentimiento informado.

2. Grabación de video: del trabajador en el puesto de trabajo y remisión al profesional especializado.

3. Verificación: el profesional especializado valida la calidad del video, el requerimiento y de la entrevista al trabajador para la edición del video objeto de la IPT.

4. Informe IA: El video se procesa en el software ERGO IA, el cual realiza el análisis requerido con la generación del informe técnico según la metodología utilizada con su evaluación y valoración del riesgo; este proceso puede durar máximo 3 minutos.

5. Recomendaciones: el profesional especializado interpreta el resultado y puede hacer manualmente los ajustes pertinentes, procediendo a emitir acciones preventivas o correctivas. Dicho informe se socializa al trabajador y a la empresa.

En cuanto a la objetividad del análisis postural, Khanagar et al. (2026) emplearon fotografías estáticas con dos cámaras en planos sagital y frontal, mientras que en el presente estudio se utilizaron vídeos dinámicos con seguimiento de la secuencia completa de la tarea, lo que permite una captura más representativa de la exposición postural real. Ambas aproximaciones coinciden en eliminar el sesgo inter-observador inherente a las metodologías de observación directa manual y en posibilitar evaluaciones remotas, aspecto especialmente relevante para los prevencionistas que lideran el sistema de vigilancia epidemiológico osteomuscular en las empresas colombianas.

Caracterización de las IPT con uso de IA software ERGO IA

El trabajo se ha desarrollado con base en 225 inspecciones de puestos de trabajo realizadas entre 2023 y 2026 en 22 empresas de diferentes ciudades del sector productivo colombiano, en las ciudades de Bogotá, Barranquilla, Buenaventura, Cali, Cartagena, Medellín y Pereira; aplicando las metodologías REBA, OWAS o RULA bajo la siguiente distribución: REBA (cuerpo completo), OWAS (posturas globales) y RULA (miembros superiores). Para el análisis sistemático se construyeron bases de datos en Excel para el registro de las IPT realizadas con ERGO IA, con las siguientes variables: N.° Informe, metodología, empresa, ciudad, puesto de trabajo, tarea, subtarea, año, fecha de evaluación, puntuación y nivel de riesgo; realizando el análisis estadístico de razones y proporciones de acuerdo con los resultados de evaluación y valoración del riesgo identificado con cada metodología.

Cuantificación de los resultados

Teniendo en cuenta que las metodologías arrojan diferentes criterios interpretativos de evaluación y valoración del riesgo, para fines académicos se desarrolló una tabla de homologación de la puntuación, niveles y semaforización del riesgo identificado en cada IPT con seis niveles de interpretación, para una caracterización global de los resultados independiente de la herramienta ergonómica utilizada (Figura 1).



Figura 1

Homologación de clasificación de Estados por Niveles de Interpretación

Nota. Elaboración propia.

Análisis de ventajas operativas, estratégicas y económicas

Para el análisis de las ventajas estratégicas, operativas y económicas del uso del software Ergo IA del IBV frente a los métodos tradicionales de ejecución de IPT manuales versus con uso de IA, se diseñaron dos encuestas estructuradas: el Instrumento A, aplicado a profesionales especialistas en SST que realizaron el análisis con uso de IA, y el Instrumento B, dirigido a empleadores. Con estos instrumentos se buscó demostrar las ventajas estratégicas, operativas y económicas de la vigilancia ergonómica mediante inspecciones de puestos de trabajo con el uso de IA del software Ergo IA del IBV para la gestión del riesgo biomecánico de postura en empresas colombianas. Las encuestas fueron tabuladas en bases Excel para su respectivo análisis, interpretación y definición de resultados.

Como criterios de inclusión se establecieron los siguientes: IPT con alguna de las metodologías REBA, OWAS y RULA mediante uso de inteligencia artificial con el software ERGO IA del IBV; IPT realizada a trabajador dependiente de empresa incluido en el sistema de gestión de riesgos laborales; e IPT realizadas a trabajadores que laboran en Colombia. Por su parte, los criterios de exclusión fueron: IPT con uso de IA incompletas, IPT con uso de IA previas al año 2023 e IPT no realizadas con software ERGO IA.

3. Resultados y discusión de resultados

Caracterización de las IPT con uso de IA software ERGO IA

Se analizaron un total de 225 inspecciones de puestos de trabajo (IPT) realizadas entre 2023 y 2026 en 22 empresas del sector productivo en 7 ciudades de Colombia, distribuidas así:

Tabla 1

Distribución de IPT por ciudades

Ciudad	OWAS	REBA	RULA	Total	%
Cali	16	50	0	66	29%
Bogotá	16	35	9	60	27%
Buenaventura	4	26	8	38	17%
Medellín	4	8	27	39	17%

Ciudad	OWAS	REBA	RULA	Total	%
Cartagena	3	7	1	11	5%
Barranquilla	2	4	0	6	3%
Pereira	5	0	0	5	2%
Total	50	130	45	225	100%

Nota. Elaboración propia.

El 85 % de las IPT se realizaron en ciudades capitales de alto impacto industrial y en Buenaventura, donde opera una empresa en el mayor puerto de Colombia.

Se evidenció que la metodología más utilizada fue REBA con 130 evaluaciones (57,8 %), seguida de OWAS con 50 (22,2 %) y RULA con 45 (20,0 %).

Tabla 2

Caracterización por método ergonómico

Método	Cantidad	% del Total
OWAS	50	22,2%
REBA	130	57,8%
RULA	45	20,0%
Total	225	100%

Nota. Elaboración propia.

La decisión del método ergonómico fue definida por cada profesional especializado en SST con formación en ERGO IA, acorde a la información de las tareas y subtareas que realiza el trabajador. De acuerdo con el método utilizado se emitió el respectivo informe de evaluación y valoración del riesgo, con el siguiente resultado:

Tabla 3

Clasificación de Estados por Niveles de Interpretación

Estado	Cantidad	%	Nivel homologado
Medio	90	40,0%	⚠ Medio
Normal	40	17,8%	✓ Bajo
Alto	27	12,0%	✕ Crítico
Pronto	27	12,0%	⚠ Urgente
Posible	15	6,7%	⚠ Urgente
Ligero Riesgo	10	4,4%	✓ Bajo
Inapreciable	6	2,7%	✓ Bajo
Bajo	5	2,2%	✓ Bajo
Inmediato	3	1,3%	✕ Crítico
Muy Alto	2	0,9%	✕ Crítico
Total	225	100%	

Nota. Elaboración propia.

Teniendo en cuenta el nivel de riesgo Crítico y Urgente correspondiente al 32,9 %, se consideran de relevancia para intervenciones del riesgo prioritarias y/o inmediatas. Del mismo modo, frente a las valoraciones con mayor nivel de criticidad por cada metodología, se evidenció el siguiente resultado:

Tabla 4

Porcentaje de criticidad por metodología

Metodología	IPT críticas	IPT evaluadas	% Criticidad
OWAS	10*	50	20%
REBA	29	130	22%
RULA	30	45	67%
Total	69	225	31%

Nota. Elaboración propia. *Las IPT de la metodología OWAS se clasificaron en normal y ligero riesgo, tomando este último como el mayor nivel de criticidad para el caso particular de esta metodología.

Se evidencia mayor porcentaje de criticidad en las IPT de la metodología RULA, siendo esta la de menos IPT realizadas con sólo 45 (20 %) del total de 225.

Cuantificación de los resultados

Teniendo en cuenta que cada metodología genera su propio resultado en términos de criticidad, se realizó la matriz de homologación descrita anteriormente con el fin de facilitar el análisis académico en la evaluación y valoración del riesgo biomecánico de postura. Con respecto a ello, se encontró el siguiente resultado (Figura 2):



Figura 2

Distribución niveles de riesgo de postura

Nota. Elaboración propia.

El 32,9 % de las evaluaciones se clasificaron en niveles de riesgo crítico o urgente (que requieren acción inmediata), el 40 % en nivel de riesgo medio (requieren acción en el corto plazo), y el restante 27,1 % en niveles de riesgo bajo, muy bajo o aceptable.

Análisis de ventajas operativas, estratégicas y económicas

Para analizar las ventajas estratégicas, operativas y económicas del uso de Ergo IA frente al método tradicional de IPT manual, se diseñaron y aplicaron dos instrumentos de percepción: el Instrumento A, dirigido a profesionales especializados en SST que realizaron las IPT (n = 2), y el Instrumento B, dirigido a representantes de las empresas donde se ejecutaron las inspecciones (n = 10). Las respuestas fueron tabuladas y analizadas en tres dimensiones: cuantitativa (tiempos y costos), de percepción de impacto mediante escala Likert (1–5), y cualitativa (preguntas abiertas). Los resultados se presentan a continuación en las tablas 5 a 9.

Tabla 5

Comparación de tiempos y costos por IPT: método manual vs. Ergo IA (Instrumento A, profesionales SST, n = 2)

Variable	A-01	A-02	Promedio	Reducción vs. manual
Tiempo IPT método manual (min)	120	110	115,0	—
Tiempo IPT con Ergo IA (min)	30	28	29,0	74,8 %
Reducción de tiempo (%)	75	75	75,0	—
Costo IPT método manual ($ COP)	350 000	320 000	335 000	—
Costo IPT con Ergo IA ($ COP)	210 000	190 000	200 000	—
Reducción de costo (%)	40,0	41,0	40,5	—
Costo promedio desplazamiento/IPT manual ($ COP)	80 000	70 000	75 000	100,0 %
Puestos inspeccionados/día – método manual	3	3	3,0	—
Puestos inspeccionados/día – Ergo IA	8	9	8,5	+183 %

Nota. Elaboración propia con base en datos primarios del estudio (SURETY SST, 2026).

Tabla 6

Comparación de costos y tiempos de entrega del informe: método manual vs. Ergo IA (Instrumento B, empleadores, n = 10; datos de empresas con IPT previa n = 7)

Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	n
Costo IPT método manual* ($ COP)	280 000	420 000	355 714	360 000	7
Costo IPT con Ergo IA ($ COP)	160 000	250 000	204 000	205 000	10
Reducción de costo estimada (%)	—	—	42,7	—	7
Días entrega informe – método manual* (días hábiles)	4	8	6,0	6,0	7
Tiempo entrega informe – Ergo IA (horas)	3	6	4,6	4,5	10
Reducción tiempo entrega informe (%)	—	—	aprox. 83	—	7

Variable	Mínimo	Máximo	Promedio	Mediana	n
N.° puestos inspeccionados por empresa	3	22	11,6	10,0	10
N.° puestos con intervención urgente por empresa	1	9	4,4	4,0	10
% puestos urgentes sobre total inspeccionado	—	—	37,9	—	10

Nota. Elaboración propia con base en datos del Instrumento B (SURETY SST, 2026). *Solo incluye empresas con experiencia previa en IPT manual.

Los resultados cuantitativos de las encuestas permiten estimar que el uso de Ergo IA genera una reducción promedio del 75 % en el tiempo del profesional especializado y de entre 40,5 % y 42,7 % en el costo directo por IPT, según la fuente de referencia (profesional SST o empleador respectivamente). Adicionalmente, la eliminación del 100 % de los desplazamientos del profesional especializado y el incremento de la capacidad operativa (de 3 a 8–9 IPT/día) representan ganancias de eficiencia con impacto económico directo en el ámbito de los programas de vigilancia ergonómica de riesgo biomecánico.

Así mismo, se presenta la validación del impacto mediante escala Likert, contenido en las encuestas de percepción aplicadas a profesionales especializados y representantes de las empresas:

Tabla 7

Indicadores clave de impacto en reducción de tiempos, costos y productividad — Prueba piloto de validación (n = 12 encuestas)

Indicador	Valor	Detalle	Instrumento
Reducción promedio tiempo por IPT (profesionales SST)	75 %	De aprox. 115 min a aprox. 29 min	A (n = 2)
Reducción promedio costo por IPT (profesionales SST)	40,5 %	De aprox. $ 335 000 a aprox. $ 200 000 COP	A (n = 2)
Eliminación costos de desplazamiento	100 %	Promedio aprox. $ 75 000 COP por IPT	A (n = 2)
Incremento de productividad (puestos/día)	aprox. 3x	De 3 a 8–9 puestos/día	A (n = 2)
Reducción costo por IPT (empleadores)	42,7 %	De aprox. $ 355 714 a aprox. $ 204 000 COP	B (n = 10)
Reducción tiempo entrega informe (empleadores)	aprox. 83 %	De 5–8 días hábiles a 3–6 horas	B (n = 10)
Total puestos inspeccionados (muestra B)	116	Promedio: 11,6 puestos/empresa	B (n = 10)
Puestos con intervención urgente (muestra B)	44	37,9 % del total inspeccionado	B (n = 10)

Nota. Elaboración propia con base en datos de los instrumentos A y B (SURETY SST, 2026).

Tabla 8

Percepción de impacto por dimensión — Instrumento A: profesionales SST (n = 2). Escala Likert 1–5

Dim.	Descripción	N° ítems	Prom. A-01	Prom. A-02	Prom. global	Interpretación
A	Objetividad y calidad del análisis	5	4,60	4,20	4,40	Favorable
B	Reducción de carga operativa y tiempos	5	5,00	4,80	4,90	Muy favorable
C	Reducción de costos y eficiencia económica	4	5,00	5,00	5,00	Muy favorable
D	Modalidad remota y trazabilidad	5	4,60	4,40	4,50	Muy favorable
E	Oportunidad e impacto en toma de decisiones	5	5,00	5,00	5,00	Muy favorable
F	Dificultades y limitaciones percibidas	5	3,80	3,80	3,80	Favorable
G	Valoración general y recomendación	4	5,00	5,00	5,00	Muy favorable
—	Promedio global del instrumento	33	4,71	4,60	4,66	Muy favorable

Nota. Elaboración propia con base en Instrumento A — Sección III (SURETY SST, 2026). Escala: 1 = Totalmente en desacuerdo; 5 = Totalmente de acuerdo. Interpretación: mayor o igual a 4,5 = Muy favorable; 3,5–4,4 = Favorable.

Tabla 9

Percepción de impacto por dimensión — Instrumento B: empleadores (n = 10). Escala Likert 1–5

Dim.	Descripción	N° ítems	Prom. global	Desv. est.	Rango	% Acuerdo	Interpretación
A	Calidad y objetividad de los resultados	5	4,54	0,58	3 – 5	96,0 %	Muy favorable
B	Oportunidad y disponibilidad de la información	4	4,85	0,53	3 – 5	92,5 %	Muy favorable
C	Reducción de costos y eficiencia económica	5	4,68	0,47	4 – 5	100,0 %	Muy favorable
D	Facilidad del proceso para la empresa	5	4,68	0,51	3 – 5	98,0 %	Muy favorable
E	Trazabilidad y cumplimiento legal (SG-SST)	5	4,72	0,45	4 – 5	100,0 %	Muy favorable
F	Impacto en SST de los trabajadores	4	4,53	0,60	3 – 5	95,0 %	Muy favorable
G	Valoración general y disposición de continuidad	4	4,92	0,27	4 – 5	100,0 %	Muy favorable
—	Promedio global del instrumento	32	4,70	0,49	3 – 5	97,4 %	Muy favorable

Nota. Elaboración propia con base en Instrumento B — Sección III (SURETY SST, 2026). Escala: 1 = Totalmente en desacuerdo; 5 = Totalmente de acuerdo. % Acuerdo: proporción de respuestas en categorías 4 o 5.

En conjunto, los resultados de las tablas 7 a 9 confirman, desde la percepción de los actores directamente involucrados, las tres dimensiones de impacto identificadas en el estudio. La

dimensión económica fue la mejor valorada por los profesionales SST (Dimensión C, promedio 5,00/5,00), mientras que la valoración general y la disposición de continuidad alcanzó el mayor consenso entre empleadores (Dimensión G, 4,92/5,00 con 100 % de acuerdo). La dimensión de dificultades y limitaciones percibidas (Dimensión F, 3,80 en Instrumento A) es coherente con las limitaciones técnicas documentadas en la Discusión, y subraya la necesidad del enfoque híbrido IA–ergonomista descrito por Larez y Maribao (2025). El 100 % de los empleadores de la muestra manifestó disposición de contratar nuevamente IPT con Ergo IA y recomendarla a otras empresas de su sector.

Discusión

Los resultados de este estudio confirman y amplían la evidencia internacional sobre el valor de la inteligencia artificial en la evaluación ergonómica. La reducción del 75 % en tiempos del profesional especializado y del 40 % en costos de inspección de puesto de trabajo aporta datos cuantificables desde el contexto colombiano, llenando un vacío frente al conocimiento de la aplicación de IA a nivel latinoamericano, tal como lo evidencia el análisis bibliométrico de Nugroho et al. (2026), quienes identificaron que la mayoría de la investigación de alto impacto proviene de Estados Unidos y países europeos, con escasa participación latinoamericana.

En términos de comparabilidad tecnológica, los hallazgos del presente estudio son consistentes con los de Quesada Díaz et al. (2026), quienes demostraron que los sistemas de captura de movimiento basados en visión computacional e IA producen clasificaciones de riesgo coherentes con las obtenidas por sistemas inerciales de referencia (IMU), pese a diferencias en amplitudes absolutas de ángulos articulares. Esto confirma que, para la priorización del riesgo y la toma de decisiones preventivas, los sistemas basados en IA —como Ergo IA— son suficientemente confiables, aunque sus resultados deben interpretarse en el marco del enfoque híbrido propuesto por Larez y Maribao (2025): la IA como herramienta de captura y análisis, y el ergonomista como autoridad técnica que valida e interpreta los resultados.

La comparación con el estudio de Khanagar et al. (2026) en odontología revela un patrón común: independientemente del sector (manufactura, salud, servicios u otros), la evaluación ergonómica asistida por IA identifica de manera consistente una alta prevalencia de posturas comprometidas que pasan inadvertidas o son subestimadas en las evaluaciones tradicionales. En el contexto colombiano, el 72,9 % de los puestos evaluados presentaron riesgo medio o superior, lo cual refuerza la necesidad de implementar programas sistemáticos de vigilancia ergonómica. Esta cifra es comparable a la reportada por Ibarra et al. (2024) para trabajadores latinoamericanos (70,6 % con riesgo biomecánico alto), lo que sugiere que los hallazgos de este estudio son representativos del panorama regional.

Dificultades y limitaciones técnicas identificadas

Durante la implementación de Ergo IA se identificaron dos limitaciones técnicas principales asociadas al proceso de captura de vídeo. La primera se relaciona con la calidad de la grabación: el encuadre, la dotación o vestuario de trabajo del trabajador, la iluminación del entorno y la distancia respecto a la cámara pueden afectar la correcta detección de los puntos corporales por parte del algoritmo de inteligencia artificial. La segunda se refiere a la lectura del ángulo articular por el algoritmo, que en posturas complejas o con oclusión parcial de segmentos corporales puede subestimar o sobreestimar dichos ángulos, requiriendo la validación y el ajuste de un profesional especializado. Estas dificultades son coherentes con la evidencia documentada en la literatura internacional. Safari et al. (2025) señalaron que la oclusión y las condiciones de iluminación variable continúan siendo barreras relevantes para la implementación práctica de estos sistemas. De manera similar, Agostinelli et al. (2024), al validar herramientas de evaluación de riesgo ergonómico basadas en visión computacional en ambientes reales de manufactura, confirmaron la necesidad de protocolos estandarizados de grabación como los que exige Ergo IA.

En el ejercicio de revisión bibliográfica no se evidenciaron estudios contradictorios a los resultados encontrados en el presente trabajo, lo cual genera validez científica y aporta conocimiento a la gestión del riesgo biomecánico de postura.

4. Conclusiones

Este estudio demuestra que la adopción de herramientas ergonómicas mediante el uso de IA para inspecciones de puesto de trabajo es viable y beneficiosa para los sistemas de vigilancia epidemiológica osteomuscular. Se identificaron ventajas en tres dimensiones:

Estratégicas: el análisis oportuno (inmediato) del riesgo, minimización del sesgo por la validación del profesional especializado al análisis realizado por la IA, caracterización objetiva del riesgo para su intervención y control, dando prioridad a los niveles de riesgo crítico y urgente (32,9 %) y niveles de riesgo medio (40 %). La generación de estos datos permite acciones preventivas y correctivas con impactos positivos en el sistema de vigilancia epidemiológico osteomuscular.

Operativas: la accesibilidad de la tecnología en tiempo real generó una reducción del 100 % en tiempos de desplazamiento del profesional especializado a los puestos de trabajo y una disminución del 75 % del tiempo requerido para el análisis e interpretación de la IPT de manera manual versus con software Ergo IA. Así mismo, facilita la evaluación y valoración del riesgo antes y después de la IPT con IA, generando evidencia de la reducción del riesgo de postura y su socialización al trabajador para su prevención.

Económicas: el uso de IA requiere inversión en tecnología; sin embargo, con la eficiencia del procedimiento de IPT, se encontró una reducción de entre el 40,5 % y el 42,7 % en el costo directo por IPT mediante el uso de IA con el software Ergo IA versus el método tradicional manual, como consecuencia de la eliminación del 100 % de tiempos de desplazamiento y la disminución del 75 % de tiempo en análisis e interpretación de IPT.

Ergo IA constituye una herramienta innovadora para la vigilancia ergonómica, optimiza recursos, reduce costos y fortalece la gestión objetiva del riesgo biomecánico, contribuyendo a entornos laborales más seguros, eficientes y sostenibles. Se concluye además que el uso de la IA es una ayuda fundamental y valiosa para los profesionales especializados en riesgo biomecánico, sin evidenciar riesgo de ser reemplazado por esta tecnología.

El presente estudio es la base para un nuevo trabajo de investigación, evaluando los impactos en la siniestralidad (AT-EL) mediante la estrategia de inspecciones de puesto de trabajo con Ergo IA.

Bibliografía

Agostinelli, T., Generosi, A., Ceccacci, S., & Mengoni, M. (2024). Validation of computer vision-based ergonomic risk assessment tools for real manufacturing environments. Scientific Reports, 14, Article 27785. https://doi.org/10.1038/s41598-024-79373-4

García Galindo, C. E. (2024). Inteligencia artificial en la evaluación de riesgos ergonómicos en puestos de trabajo, un enfoque innovador [Tesis de maestría, Universidad Europea de Canarias]. Repositorio Institucional UEC.

Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31(2), 201-205. https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3

Ibarra Villanueva, C., Astudillo Cornejo, P., Ramos Pisón, M. J., & Aguilera Olivares, F. (2024). Diagnóstico ergonómico del riesgo de trastornos musculoesqueléticos en trabajadores de micro y pequeñas empresas. Estudio exploratorio. Revista Facultad Nacional de Salud Pública, 1.

Instituto Biomecánico de Valencia. (2023, 20 de enero). ErgoIA. https://ergoia.ibv.org/index.php/es/

Khanagar, S. B., Alshehri, A., Albalawi, F., Kalagi, S., Alghilan, M. A., Awawdeh, M., & Iyer, K. (2026). Evaluation of ergonomic work postures among dental students during restorative procedures using an artificial intelligence–based assessment model. Frontiers in Oral Health, 7, 1790719. https://doi.org/10.3389/froh.2026.1790719

Lafuente Ibáñez, C., & Marín Egoscozábal, A. (2008). Metodologías de la investigación en las ciencias sociales: Fases, fuentes y selección de técnicas. Revista EAN, 5-18.

Larez, F., & Maribao, Y. (2025). Integración de la inteligencia artificial y métodos clásicos para la evaluación de riesgos ergonómicos. e-Revista Multidisciplinaria del Saber, 10.

McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics, 24(2), 91-99. https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S

Nugroho, B. Y. S., Yuantari, M. G. C., Pramitasari, R., Sifai, I. A., Asfawi, S., Treesak, C., & Fauzi, M. A. (2026). Ergonomics of safety design: Research and implementation: 2002–2024 bibliometric analysis. The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health, 15(1), 83-100. https://doi.org/10.20473/ijosh.v15i1.2026.83-100

Organización Mundial de la Salud. (2022, 14 de julio). Trastornos musculoesqueléticos. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions

Quesada Díaz, R., Iriondo Pascual, A., Högberg, D., Bandaru, S., & Hanson, L. (2026). Supporting ergonomics evaluations in manufacturing: A comparison of computer vision- and IMU-based motion capture. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1342, 012053. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1342/1/012053

Ramón Rojas, J. J., & del Castro Gómez, M. (2025). Análisis de los puestos de trabajo mediante el uso de inteligencia artificial y su relación con la sintomatología osteomuscular en trabajadores de una institución de formación para el trabajo y el desarrollo humano en la ciudad de Barranquilla [Tesis de especialización, Universidad de la Costa]. Repositorio Institucional CUC.

Risk & Insurance. (2025, 12 de septiembre). How artificial intelligence is revolutionizing workplace ergonomics and safety. https://riskandinsurance.com/how-artificial-intelligence-is-revolutionizing-workplace-ergonomics-and-safety/

Safari, M., Naserbakht, A. H., Badri Kouhi, A., & Varmazyar, S. (2025). Artificial intelligence and emerging technologies in assessing ergonomic risk factors in the workplace: A systematic review. Work. Advance online publication. https://doi.org/10.1177/10519815251349793

Sánchez Medina, A. F. (2018). Prevalencia de desórdenes músculo esqueléticos en trabajadores de una empresa de comercio de productos farmacéuticos. Revista Ciencias de la Salud, 16(2), 203.

Anexo A. Instrumento A — Empleadores / Representantes de empresas

INSTRUMENTO A — FISIOTERAPEUTAS Y PROFESIONALES SST QUE APLICARON LAS IPT CON ERGO IA

I. DATOS DE IDENTIFICACIÓN (PROFESIONAL SST)

Por favor, diligencie los siguientes datos. Esta información no será publicada de forma individual.

1. Nombre completo (opcional): _____

2. Profesión: _____

3. Tiempo de experiencia en SST / Ergonomía: _____ años

4. Nivel de formación en ergonomía:

○ Curso de formación (< 40 h)

○ Diplomado

○ Especialización

○ Maestría

○ Doctorado

5. N.° total de IPT con Ergo IA que ha realizado a la fecha: _____ inspecciones

6. Metodologías utilizadas con Ergo IA (puede marcar varias):

○ REBA

○ OWAS

○ RULA

○ Movimientos repetitivos (OCRA/otros)

7. Sectores económicos en los que ha aplicado Ergo IA:

○ Manufactura / Industria

○ Salud

○ Comercio y servicios

○ Construcción

○ Agroindustria

○ Logística / Transporte

○ Otro: _____

II. TIEMPOS Y COSTOS COMPARATIVOS — DATOS CUANTITATIVOS

Esta sección busca cuantificar la reducción real de tiempos y costos. Por favor, estime los valores con base en su experiencia.

8. Tiempo promedio de una IPT completa con método MANUAL (video + análisis + informe): _____ minutos / horas

9. Tiempo promedio de una IPT completa con ERGO IA (video + análisis + informe): _____ minutos / horas

10. Porcentaje estimado de reducción de tiempo con Ergo IA vs. método manual: _____ %

11. Costo promedio cobrado/estimado por una IPT con método MANUAL (por puesto): _____ $ COP

12. Costo promedio cobrado/estimado por una IPT con ERGO IA (por puesto): _____ $ COP

13. Porcentaje estimado de reducción de costo con Ergo IA vs. método manual: _____ %

14. Costo promedio de desplazamiento (transporte + viáticos) por IPT manual: _____ $ COP

15. ¿Cuántos puestos de trabajo puede inspeccionar por día con Ergo IA vs. con método manual?

_____

Con método manual: _____ puestos/día

Con Ergo IA: _____ puestos/día

III. PERCEPCIÓN DE IMPACTO — ESCALA DE VALORACIÓN

Para cada afirmación, marque con una X la casilla que mejor refleje su percepción. Escala: 1 = Totalmente en desacuerdo • 2 = En desacuerdo • 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo • 4 = De acuerdo • 5 = Totalmente de acuerdo

Afirmación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
A. OBJETIVIDAD Y CALIDAD DEL ANÁLISIS ERGONÓMICO	A. OBJETIVIDAD Y CALIDAD DEL ANÁLISIS ERGONÓMICO	A. OBJETIVIDAD Y CALIDAD DEL ANÁLISIS ERGONÓMICO	A. OBJETIVIDAD Y CALIDAD DEL ANÁLISIS ERGONÓMICO	A. OBJETIVIDAD Y CALIDAD DEL ANÁLISIS ERGONÓMICO	A. OBJETIVIDAD Y CALIDAD DELANÁLISIS ERGONÓMICO
1. Ergo IA produce resultados más objetivos que el análisis manual con REBA/OWAS/RULA.	○	○	○	○	○
2. El software reduce la variabilidad subjetiva que puede presentarse al analizar videos o fotografías de forma manual.	○	○	○	○	○
3. Los ángulos articulares calculados automáticamente por Ergo IA son confiables para tomar decisiones preventivas.	○	○	○	○	○
4. La puntuación de riesgo generada es coherente con mi juicio clínico al revisar el video.	○	○	○	○	○
5. Ergo IA me permite detectar posturas de riesgo que podrían pasarse por alto en una inspección manual.	○	○	○	○	○
B. REDUCCIÓN DE CARGA OPERATIVA Y TIEMPOS	B. REDUCCIÓN DE CARGA OPERATIVA Y TIEMPOS	B. REDUCCIÓN DE CARGA OPERATIVA Y TIEMPOS	B. REDUCCIÓN DE CARGA OPERATIVA Y TIEMPOS	B. REDUCCIÓN DE CARGA OPERATIVA Y TIEMPOS	B. REDUCCIÓN DE CARGA OPERATIVA Y TIEMPOS
6. El tiempo requerido para realizar una IPT con Ergo IA es significativamente menor al de una IPT manual.	○	○	○	○	○
7. Antes de usar Ergo IA, una IPT completa (REBA/RULA/OWAS) me tomaba aproximadamente 2 horas.	○	○	○	○	○
8. Con Ergo IA, el tiempo de análisis se redujo a aproximadamente 30 minutos por IPT.	○	○	○	○	○
9. La reducción de tiempo me permite atender un mayor número de empresas o puestos de trabajo.	○	○	○	○	○
10. La automatización del análisis libera mi tiempo para la interpretación, las recomendaciones y la gestión preventiva.	○	○	○	○	○

Afirmación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA	C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA	C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA	C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA	C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA	C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA
11. El costo total de la IPT con Ergo IA es menor al de la IPT realizada con el método tradicional.	o	o	o	o	o
12. La eliminación del desplazamiento físico al lugar de trabajo representa un ahorro económico significativo.	o	o	o	o	o
13. Ergo IA hace accesible la vigilancia ergonómica a empresas con presupuesto limitado.	o	o	o	o	o
14. La relación costo-beneficio de usar Ergo IA es favorable en comparación con el método manual.	o	o	o	o	o
D. MODALIDAD REMOTA Y TRAZABILIDAD	D. MODALIDAD REMOTA Y TRAZABILIDAD	D. MODALIDAD REMOTA Y TRAZABILIDAD	D. MODALIDAD REMOTA Y TRAZABILIDAD	D. MODALIDAD REMOTA Y TRAZABILIDAD	D. MODALIDAD REMOTA Y TRAZABILIDAD
15. La modalidad de análisis 100 % remoto facilita cubrir empresas ubicadas en diferentes ciudades sin necesidad de desplazamiento.	o	o	o	o	o
16. El proceso de grabación y envío del video es sencillo para el personal de la empresa.	o	o	o	o	o
17. El informe automático generado por Ergo IA permite documentar y trazar el riesgo biomecánico a lo largo del tiempo.	o	o	o	o	o
18. El sistema posibilita comparar el riesgo de un puesto antes y después de una intervención ergonómica.	o	o	o	o	o
19. Los informes generados son suficientemente claros para ser entregados directamente al empleador.	o	o	o	o	o
E. OPORTUNIDAD E IMPACTO EN LA TOMA DE DECISIONES	E. OPORTUNIDAD E IMPACTO EN LA TOMA DE DECISIONES	E. OPORTUNIDAD E IMPACTO EN LA TOMA DE DECISIONES	E. OPORTUNIDAD E IMPACTO EN LA TOMA DE DECISIONES	E. OPORTUNIDAD E IMPACTO EN LA TOMA DE DECISIONES	E. OPORTUNIDAD E IMPACTO EN LA TOMA DE DECISIONES
20. El informe de riesgo generado por Ergo IA está disponible de forma inmediata tras procesar el video.	o	o	o	o	o

Afirmación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
21. La inmediatez del informe permite comunicar el riesgo y actuar con mayor rapidez.	o	o	o	o	o
22. Las recomendaciones preventivas y correctivas incluidas en el informe son pertinentes y aplicables.	o	o	o	o	o
23. Los resultados de Ergo IA me ayudan a priorizar cuáles puestos requieren intervención urgente.	o	o	o	o	o
24. Ergo IA contribuye al cumplimiento legal del SG-SST en materia de vigilancia ergonómica (Decreto 1072/2015).	o	o	o	o	o
F. DIFICULTADES Y LIMITACIONES PERCIBIDAS	F. DIFICULTADES Y LIMITACIONES PERCIBIDAS	F. DIFICULTADES Y LIMITACIONES PERCIBIDAS	F. DIFICULTADES Y LIMITACIONES PERCIBIDAS	F. DIFICULTADES Y LIMITACIONES PERCIBIDAS	F. DIFICULTADES Y LIMITACIONES PERCIBIDAS
25. Las condiciones de iluminación del entorno de trabajo afectaron la calidad del análisis en alguna ocasión.	o	o	o	o	o
26. La dotación o vestuario del trabajador dificultó la detección corporal por parte del algoritmo.	o	o	o	o	o
27. El encuadre o distancia del trabajador a la cámara generó errores en la lectura de ángulos articulares.	o	o	o	o	o
28. Las dificultades técnicas encontradas fueron resolubles con orientación al personal de la empresa.	o	o	o	o	o
29. Las limitaciones del software requirieron que yo validara o ajustara manualmente el resultado del algoritmo.	o	o	o	o	o
G. VALORACIÓN GENERAL Y RECOMENDACIÓN	G. VALORACIÓN GENERAL Y RECOMENDACIÓN	G. VALORACIÓN GENERAL Y RECOMENDACIÓN	G. VALORACIÓN GENERAL Y RECOMENDACIÓN	G. VALORACIÓN GENERAL Y RECOMENDACIÓN	G. VALORACIÓN GENERAL Y RECOMENDACIÓN
30. Ergo IA es una herramienta que recomendaría a otros profesionales de SST.	o	o	o	o	o
31. El uso de Ergo IA no reemplaza al fisioterapeuta o profesional SST especializado, sino que potencia su labor.	o	o	o	o	o
32. Ergo IA es una innovación que aporta valor real al SG-SST de las empresas colombianas.	o	o	o	o	o

Afirmación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
33. Usaría Ergo IA como herramienta habitual en mi práctica profesional de vigilancia ergonómica.	○	○	○	○	○

IV. PREGUNTAS ABIERTAS

Responda brevemente con base en su experiencia.

36. ¿Cuál considera que es la mayor ventaja de Ergo IA frente al método de inspección manual? ¿Por qué?

37. ¿Qué dificultades técnicas o limitaciones encontró al usar Ergo IA? ¿Cómo las resolvió?

38. ¿En qué tipo de puestos de trabajo considera que Ergo IA tiene mayor utilidad y en cuáles mayores limitaciones?

39. ¿Qué mejoras o funcionalidades adicionales sugeriría al software Ergo IA para optimizar su uso en el contexto colombiano?

40. ¿Considera que Ergo IA reemplaza o complementa la labor del fisioterapeuta/profesional SST? Justifique su respuesta.

Anexo B. Instrumento B — Empleadores / Representantes de empresas

INSTRUMENTO B — EMPLEADORES / REPRESENTANTES DE EMPRESAS DONDE SE APLICARON LAS IPT

I. DATOS DE IDENTIFICACIÓN (EMPRESA)

Por favor, diligencie los siguientes datos. Esta información no será publicada de forma individual.

1. Nombre o razón social de la empresa (opcional): _____

2. Sector económico: _____

3. Ciudad / Municipio: _____

4. Número de trabajadores en la empresa:

○ 1 a 10 (Microempresa)

○ 11 a 50 (Pequeña empresa)

○ 51 a 200 (Mediana empresa)

○ Más de 200 (Grande empresa)

5. Cargo del respondiente:

○ Gerente / Dueño

○ Coordinador de SST / COPASST

○ Recursos Humanos / Talento Humano

○ Director Operativo / Jefe de Producción

○ Otro: _____

6. N.° de puestos de trabajo inspeccionados con Ergo IA en su empresa: _____ puestos

7. Metodologías aplicadas en las IPT de su empresa (puede marcar varias):

○ REBA

○ OWAS

○ RULA

8. ¿Había recibido antes inspecciones ergonómicas de puesto de trabajo (sin IA)?

○ Sí

○ No

II. COMPARACIÓN DE COSTOS Y TIEMPOS — DATOS CUANTITATIVOS

Por favor, estime los valores con base en su experiencia previa (si la tiene) y en la IPT realizada con Ergo IA.

9. Costo aproximado de una IPT con método MANUAL (tradicional, si la contrató antes): _____ $ COP

10. Costo aproximado de la IPT con ERGO IA realizada en su empresa: _____ $ COP por puesto

11. Tiempo estimado de entrega del informe con método manual (si tuvo experiencia previa): _____ días hábiles

12. Tiempo de entrega del informe con ERGO IA (desde el envío del video): _____ horas / días

13. ¿Cuántos puestos de trabajo requieren intervención ergonómica urgente según los resultados de Ergo IA?: _____ puestos

III. PERCEPCIÓN DE IMPACTO — ESCALA DE VALORACIÓN

Para cada afirmación, marque con una X la casilla que mejor refleje su percepción. Escala: 1 = Totalmente en desacuerdo • 2 = En desacuerdo • 3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo • 4 = De acuerdo • 5 = Totalmente de acuerdo

Afirmación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
A. PERCEPCIÓN SOBRE LA CALIDAD Y OBJETIVIDAD DE LOS RESULTADOS	A. PERCEPCIÓN SOBRE LA CALIDAD Y OBJETIVIDAD DE LOS RESULTADOS	A. PERCEPCIÓN SOBRE LA CALIDAD Y OBJETIVIDAD DE LOS RESULTADOS	A. PERCEPCIÓN SOBRE LA CALIDAD Y OBJETIVIDAD DE LOS RESULTADOS	A. PERCEPCIÓN SOBRE LA CALIDAD Y OBJETIVIDAD DE LOS RESULTADOS	A. PERCEPCIÓN SOBRE LA CALIDAD Y OBJETIVIDAD DE LOS RESULTADOS
1. Los informes de IPT con Ergo IA presentan resultados claros y comprensibles para mi empresa.	○	○	○	○	○
2. Los niveles de riesgo identificados (crítico, alto, medio, bajo) son coherentes con lo que observo en el puesto de trabajo.	○	○	○	○	○
3. Confío en la objetividad de los resultados generados por Ergo IA para tomar decisiones preventivas.	○	○	○	○	○
4. Los resultados de Ergo IA me permiten identificar cuáles puestos de trabajo requieren intervención prioritaria.	○	○	○	○	○
5. La calidad técnica del informe es superior a la de las inspecciones ergonómicas manuales que he recibido anteriormente.	○	○	○	○	○

Afirmación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
B. OPORTUNIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN	B. OPORTUNIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN	B. OPORTUNIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN	B. OPORTUNIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN	B. OPORTUNIDADY DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN	B. OPORTUNIDAD Y DISPONIBILIDAD DE LA INFORMACIÓN
6. Recibí el informe de IPT de manera oportuna, poco tiempo después de la grabación del video.	o	o	o	o	o
7. La rapidez en la entrega del informe me permitió actuar con mayor agilidad frente al riesgo identificado.	o	o	o	o	o
8. Antes de Ergo IA, los informes de inspección ergonómica tardaban varios días en ser entregados.	o	o	o	o	o
9. La disponibilidad inmediata del informe facilita la toma de decisiones en mi empresa.	o	o	o	o	o
C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA	C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA	C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA	C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA	C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA	C. REDUCCIÓN DE COSTOS Y EFICIENCIA ECONÓMICA
10. El costo de la IPT con Ergo IA fue menor al de las inspecciones ergonómicas tradicionales que he contratado.	o	o	o	o	o
11. La modalidad remota elimina los costos asociados al desplazamiento del profesional especializado a mi empresa.	o	o	o	o	o
12. Ergo IA hace que la vigilancia ergonómica sea accesible y asequible para empresas de mi tamaño.	o	o	o	o	o
13. El ahorro en costos obtenido con Ergo IA me permite realizar más inspecciones de puesto de trabajo al año.	o	o	o	o	o
14. La relación costo-beneficio de Ergo IA es favorable frente al método de inspección manual tradicional.	o	o	o	o	o
D. PROCESO, FACILIDAD Y COMODIDAD PARA LA EMPRESA	D. PROCESO, FACILIDAD Y COMODIDAD PARA LA EMPRESA	D. PROCESO, FACILIDAD Y COMODIDAD PARA LA EMPRESA	D. PROCESO, FACILIDAD Y COMODIDAD PARA LA EMPRESA	D. PROCESO, FACILIDAD Y COMODIDAD PARA LA EMPRESA	D. PROCESO, FACILIDAD Y COMODIDAD PARA LA EMPRESA

Afirmación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
15. El proceso de grabación del video en el puesto de trabajo fue sencillo para nuestro personal.	o	o	o	o	o
16. Las indicaciones recibidas para la toma del video (encuadre, iluminación, dotación) fueron claras y fáciles de seguir.	o	o	o	o	o
17. La modalidad de análisis remoto redujo la interrupción de la operación normal de la empresa.	o	o	o	o	o
18. El proceso de consentimiento informado al trabajador fue ágil y no generó inconvenientes.	o	o	o	o	o
19. Ergo IA facilita la extensión de la vigilancia ergonómica a varios puestos de trabajo simultáneamente.	o	o	o	o	o
E. TRAZABILIDAD, EVIDENCIA Y CUMPLIMIENTO LEGAL	E. TRAZABILIDAD, EVIDENCIA Y CUMPLIMIENTO LEGAL	E. TRAZABILIDAD, EVIDENCIA Y CUMPLIMIENTO LEGAL	E. TRAZABILIDAD, EVIDENCIA Y CUMPLIMIENTO LEGAL	E. TRAZABILIDAD, EVIDENCIA Y CUMPLIMIENTO LEGAL	E. TRAZABILIDAD, EVIDENCIA Y CUMPLIMIENTO LEGAL
20. Los informes de Ergo IA generan evidencia cuantificable y documentada del riesgo biomecánico en mi empresa.	o	o	o	o	o
21. El sistema me permite comparar la evolución del riesgo en un puesto de trabajo antes y después de intervenciones.	o	o	o	o	o
22. Los resultados de Ergo IA me ayudan a demostrar el cumplimiento del SG-SST ante la ARL o entes de control.	o	o	o	o	o
23. Los informes pueden integrarse fácilmente a los registros del SG-SST de mi empresa.	o	o	o	o	o
24. Ergo IA contribuye a fortalecer la cultura de autocuidado y prevención entre mis trabajadores.	o	o	o	o	o
F. IMPACTO PERCIBIDO EN LA SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES	F. IMPACTO PERCIBIDO EN LA SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES	F. IMPACTO PERCIBIDO EN LA SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES	F. IMPACTO PERCIBIDO EN LA SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES	F. IMPACTO PERCIBIDO EN LA SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES	F. IMPACTO PERCIBIDO EN LA SEGURIDAD Y SALUD DE LOS TRABAJADORES

Afirmación	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo
25. Gracias a los resultados de Ergo IA, implementamos acciones correctivas en uno o más puestos de trabajo.	o	o	o	o	o
26. Las recomendaciones del informe fueron aplicables y pertinentes para la realidad operativa de mi empresa.	o	o	o	o	o
27. Observé mejoras en las condiciones de trabajo de los puestos intervenidos a partir de los hallazgos de Ergo IA.	o	o	o	o	o
28. Los trabajadores cuyos puestos fueron inspeccionados percibieron valor en el proceso.	o	o	o	o	o
G. VALORACIÓN GENERAL Y DISPOSICIÓN DE CONTINUIDAD	G. VALORACIÓN GENERAL Y DISPOSICIÓN DE CONTINUIDAD	G. VALORACIÓN GENERAL Y DISPOSICIÓN DE CONTINUIDAD	G. VALORACIÓN GENERAL Y DISPOSICIÓN DE CONTINUIDAD	G. VALORACIÓN GENERAL Y DISPOSICIÓN DE CONTINUIDAD	G. VALORACIÓN GENERAL Y DISPOSICIÓN DE CONTINUIDAD
29. Contrataría nuevamente inspecciones de puesto de trabajo con Ergo IA.	o	o	o	o	o
30. Recomendaría el uso de Ergo IA a otras empresas de mi sector.	o	o	o	o	o
31. Ergo IA es una herramienta innovadora que agrega valor real a la gestión de seguridad y salud en mi empresa.	o	o	o	o	o
32. Prefiero las IPT con Ergo IA sobre las IPT con el método de análisis manual tradicional.	o	o	o	o	o

IV. PREGUNTAS ABIERTAS

Responda brevemente con base en su experiencia como empresa.

37. ¿Cuál fue el aspecto que más valoró del proceso de IPT con Ergo IA? ¿Por qué?

38. ¿Encontró alguna dificultad durante el proceso (grabación del video, comprensión del informe, implementación de recomendaciones)? Descríbala.

39. ¿Qué acciones correctivas o preventivas implementó su empresa a partir de los resultados de Ergo IA?

40. ¿En qué medida considera que Ergo IA contribuye al cumplimiento legal de la vigilancia ergonómica en el marco del SG-SST colombiano?

41. ¿Recomendaría a otras empresas del sector el uso de Ergo IA para sus inspecciones ergonómicas? ¿Por qué?

Anexo C. Certificado de seguridad de la información del IBV



Applus+

CERTIFICADO

Núm. SI-0558/23

LGAI Technological Center, S.A. (Applus+)
certifica que el sistema de Gestión de Seguridad de la Información de la organización:

IBV – ASOCIACIÓN INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA

Camino de Vera, s/n, Edificio 9C - Universidad Politécnica de Valencia
46022, Valencia

para las actividades de:

El Sistema de Gestión de Seguridad de la Información que da soporte a los sistemas de información TIC, servicios y productos:
- Formación.
- Valoración Biomecánica.
- I+D+i. Gestión del conocimiento.
- Asesoramiento Tecnológico.
- Inspección y ensayos.
- Aplicaciones.
- Gestión interna de las infraestructuras.
- Gestión de recursos humanos.
- Gestión financiera.
- Gestión y mejora de procesos.

Conforme con la declaración de aplicabilidad de fecha enero de 2025.

es conforme con los requisitos de la norma ISO/IEC 27001:2022

EMISIÓN INICIAL: 31/03/2023
VIGENCIA DESDE: 04/04/2025
CADUCIDAD: 30/03/2026

Director General
Applus+ Certification, B.U.

Xavier Ruiz Peña

Directora Técnica
Applus+ Certification, B.U.

Cristina Bachiller Martínez

El presente certificado se considerará válido siempre que se cumplan todas las condiciones del contrato del cual este certificado forma parte. LGAI Technological Center, S.A. (Applus+) Campus U.A.B., Ronda de la Font del Carme s/n, 08193 Bellaterra, Barcelona.

IAF ENAC

Anexo D. Certificado de conformidad de seguridad del IBV

Applus+

CERTIFICADO

No. ENS-0531/24

CERTIFICADO DE CONFORMIDAD CON EL ESQUEMA NACIONAL DE SEGURIDAD

LGAI TECHNOLOGICAL CENTER, S.A. (Applus+) certifica que los sistemas de información reseñados, todos ellos de categoría MEDIA, y los servicios que se relacionan, de

IBV - ASOCIACIÓN INSTITUTO DE BIOMECÁNICA DE VALENCIA
Camino de Vera s/n, Edif. 9C,
46022, Valencia

Han sido auditados y encontrados conforme con las exigencias del Real Decreto 311/2022, de 3 de mayo, por el que se regula el Esquema Nacional de Seguridad en el ámbito de la Administración electrónica, según se indica en el correspondiente informe de Auditoría de 06 de marzo de 2026 para:

El sistema de información que da soporte a los servicios de: Formación, Valoración Biomecánica, I+D+i, Gestión del conocimiento, Asesoramiento Tecnológico, Inspección y ensayos, Aplicaciones, Gestión de las infraestructuras, Gestión de recursos humanos, Gestión financiera, Gestión y mejora de procesos Conforme a la declaración de aplicabilidad de fecha 4 de febrero de 2026

CATEGORÍA MEDIA	C	I	T	A	D	Total de medidas
	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	87

Fecha inicial de certificación: 08/03/2024, Categoría de seguridad: MEDIA
Fecha de concesión: 06/03/2026
Fecha de expiración: 06/03/2028

Emitido en Barcelona, a 17/03/2026

Director General
Applus Certification, S.L.U.

F. Javier Ruiz Peña

Applus certification

LGAI TECHNOLOGICAL CENTER, S.A. (Applus+)
Ronda de la Font del Carme, s/n (Campus UAB)
08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès) BARCELONA (ESPAÑA)
URL: www.applus.com

ENAC

ens

Geomática aplicada a la seguridad operativa: implementación de un GIS corporativo en la distribución de gas natural

Pablo Ferrario

Sector de Geomática, Litoral Gas S.A.

pablo.ferrario@litoral-gas.com.ar

Abstract

Antecedentes: La distribución de gas natural por redes implica la gestión de una infraestructura extensa y crítica, gestión que debe estar enfocada a evitar riesgos a las personas, al ambiente y a la misma infraestructura.

La prevención de incidentes y accidentes mayores requiere información precisa, accesible y actualizada que permita identificar peligros, evaluar riesgos y planificar acciones de control. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica se consolidan como una herramienta estratégica para integrar información técnica y operativa, fortaleciendo el enfoque preventivo y el cumplimiento normativo.

Objetivo: El objetivo de este trabajo es presentar la experiencia de Litoral Gas en la implementación y consolidación de un sistema GIS corporativo orientado a la gestión preventiva y reactiva de la red de distribución, aportando a la toma de decisiones seguras, la planificación de obras y la protección de las personas y de la infraestructura.

Método: Se desarrolló un modelo GIS integrado a bases de datos espaciales y sistemas corporativos, incorporando información georreferenciada de redes de media y alta presión, estaciones reguladoras, gasoductos, válvulas, suministros, clientes industriales y GNC y planos operativos. El sistema se implementó mediante un portal GIS con acceso desde dispositivos móviles, facilitando su uso en campo y oficinas, y permitiendo incorporar el análisis espacial como barrera preventiva en la gestión operativa de riesgos.

Resultados: El GIS permite administrar de forma centralizada más de 14.000 kilómetros de redes y numerosos activos críticos, mejorando la visualización preventiva del estado de la infraestructura, la trazabilidad, la planificación segura de intervenciones y la respuesta ante emergencias. Asimismo, se fortaleció la integración entre áreas técnicas, operativas y comerciales, mejorando la disponibilidad y consistencia de la información para la gestión del riesgo.

Conclusión: La incorporación del GIS en Litoral Gas permitió evolucionar desde un enfoque reactivo hacia un modelo proactivo y preventivo, consolidándose como una herramienta clave para la reducción de riesgos, la prevención de incidentes y la seguridad operativa.

Palabras Clave

GIS, distribución de gas natural, geomática, gestión de activos, infraestructura crítica, información geográfica.

1. Introducción

La distribución de gas natural constituye una actividad de infraestructura crítica en la que convergen activos lineales extensos, instalaciones reguladoras, válvulas, suministros, documentación técnica,

intervenciones en vía pública y operaciones de mantenimiento. En este tipo de organizaciones, la seguridad operativa depende en gran medida de la capacidad de disponer de información confiable, actualizada y geográficamente contextualizada para identificar peligros, evaluar escenarios y tomar decisiones oportunas.

La gestión moderna del riesgo propone integrar la identificación, el análisis, la evaluación, el tratamiento, el seguimiento y la comunicación de los riesgos dentro de los procesos de gestión de la organización. En paralelo, la gestión de activos enfatiza la necesidad de obtener valor de los activos durante todo su ciclo de vida, considerando desempeño, costos y riesgos. En una empresa distribuidora de gas, ambas perspectivas se relacionan de manera directa: no es posible gestionar adecuadamente el riesgo operativo sin conocer la localización, condición, conectividad, criticidad y contexto urbano de la infraestructura.

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS) aportan una estructura tecnológica y metodológica para integrar datos espaciales, atributos técnicos, documentación operativa y servicios de consulta en un entorno común. En el sector de utilities, el GIS puede actuar simultáneamente como sistema de registro, sistema de consulta operativa y plataforma de análisis para planificación, mantenimiento, emergencias y comunicación entre áreas. La literatura técnica y las soluciones industriales para empresas de gas coinciden en resaltar el valor del GIS para la administración de activos, la modernización de redes y la toma de decisiones basada en información geográfica.

En Litoral Gas, la disponibilidad de datos dispersos en bases técnicas, documentación CAD, sistemas comerciales, planos operativos y procesos de campo generaba la necesidad de consolidar una visión corporativa de la infraestructura. Esta necesidad era especialmente relevante para actividades preventivas y reactivas: planificación de obras, análisis de interferencias, inspecciones, atención de emergencias, ubicación de válvulas, identificación de suministros y consulta de planos vinculados a activos.

El presente artículo describe la experiencia de Litoral Gas en la implementación y consolidación de un GIS corporativo orientado a la seguridad operativa en la distribución de gas natural. El objetivo principal fue analizar cómo la integración de información georreferenciada y el acceso móvil al portal GIS contribuyen a fortalecer la prevención de incidentes, la trazabilidad de activos y la respuesta operativa. Como objetivos secundarios se planteó describir los componentes del modelo de datos, los principales flujos de integración, los usos operativos implementados y las limitaciones identificadas para su mejora continua.

2. Metodología

Se desarrolló un estudio de caso organizacional, descriptivo y aplicado, basado en la experiencia de implementación de un GIS corporativo en una empresa de distribución de gas natural. El enfoque metodológico fue técnico-operativo, orientado a documentar la intervención, sus componentes, los datos integrados y los resultados observables en términos de disponibilidad de información, trazabilidad y soporte a la gestión del riesgo.

Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación correspondió al sector de Geomática de Litoral Gas y a los procesos de consulta, actualización y utilización de información espacial vinculada con redes de media y alta presión, gasoductos, estaciones reguladoras, válvulas, suministros, clientes industriales, estaciones de GNC, mapas de factibilidad y planos operativos. Se consideraron tanto usos internos de oficina como usos de campo mediante dispositivos móviles.

Fuentes de información y criterios de inclusión

Se incluyeron fuentes de datos corporativas con valor operativo o preventivo para la gestión de infraestructura de gas. El criterio de inclusión fue que la información permitiera localizar activos, contextualizar intervenciones, apoyar decisiones operativas o mejorar la respuesta ante eventos. Se excluyeron registros sin relación espacial o sin utilidad directa para la gestión técnica, salvo que pudieran vincularse mediante identificadores corporativos o procesos de geocodificación.

Tabla 1. Principales componentes de información incorporados al GIS corporativo

Componente	Tipo de información	Utilidad preventiva u operativa
Redes de media presión	Trazas, diámetros, materiales, documentación asociada y atributos técnicos	Planificación de intervenciones, análisis de cercanía, mantenimiento y consulta en campo
Redes de alta presión y gasoductos	Trazas principales, instalaciones asociadas y zonas de referencia	Gestión de infraestructura crítica, evaluación de interferencias y soporte a emergencias
Estaciones reguladoras y válvulas	Ubicación, atributos técnicos y relación con la red	Aislamiento operativo, atención de eventos y planificación de maniobras
Suministros y clientes	Localización, estado, relación con sistemas comerciales y atributos de servicio	Inspecciones, rutas de visita, análisis de cobertura y soporte a atención comercial-operativa
Clientes industriales y GNC	Ubicación y datos de referencia de puntos de consumo relevantes	Priorización operativa, gestión de criticidad y planificación de contingencias
Planos y documentación	Planos constructivos, planos operativos y documentación vinculada	Trazabilidad documental y reducción de incertidumbre durante intervenciones

Desarrollo del modelo GIS

La implementación se estructuró en torno a una base de datos espacial corporativa y a un portal GIS de consulta. El modelo integró capas geográficas vectoriales, atributos técnicos y vínculos documentales. Para mejorar la interoperabilidad, se priorizó la normalización de nombres de capas, dominios de atributos, identificadores de activos, metadatos mínimos y criterios de actualización. La consolidación del dato espacial permitió transformar información previamente fragmentada en una representación territorial unificada de la red.

La arquitectura funcional contempló tres niveles: almacenamiento de datos espaciales, servicios de publicación y aplicaciones de consulta. El primer nivel concentró la información geográfica y alfanumérica; el segundo habilitó servicios cartográficos y de entidades; y el tercero permitió el acceso mediante visores web y dispositivos móviles. En términos de interoperabilidad, los estándares abiertos de intercambio geoespacial, como WMS y WFS, constituyen referencias técnicas relevantes porque permiten publicar mapas y entidades geográficas para ser consumidas por distintas aplicaciones.

Procedimientos de actualización y control de calidad

El proceso de actualización se diseñó como una cadena de integración progresiva entre fuentes corporativas, bases espaciales y servicios GIS. La lógica general incluyó extracción de datos, transformación de atributos, validación geométrica, control de consistencia, publicación y verificación de disponibilidad en el portal. Los controles de calidad se orientaron a identificar errores de

geometría, inconsistencias de atributos, duplicidades, registros sin localización, diferencias entre fuentes y desactualización de capas críticas.

Tabla 2. Controles de calidad aplicados a la información geográfica

Control	Descripción	Riesgo que reduce
Consistencia geométrica	Verificación de geometrías válidas, trazas completas y ausencia de entidades corruptas	Errores de visualización, fallas de consulta y análisis espacial incorrecto
Consistencia atributiva	Revisión de campos clave, dominios, identificadores y valores obligatorios	Pérdida de trazabilidad y errores de vinculación con sistemas corporativos
Actualización temporal	Verificación de fecha, origen y proceso de actualización de capas críticas	Uso operativo de información obsoleta
Integridad documental	Control de vínculos entre activos y planos o documentos asociados	Intervenciones con documentación incompleta o no localizable
Disponibilidad de servicios	Validación de publicación y acceso desde portal y dispositivos móviles	Fallas de consulta en oficina o campo durante tareas críticas

Indicadores utilizados para describir resultados

Dado que se trata de una comunicación técnico-operativa y no de un estudio experimental, los resultados se describieron mediante indicadores de implementación y utilidad operativa. Se consideraron: cobertura de activos integrados, centralización de información, disponibilidad móvil, integración entre áreas, trazabilidad documental, soporte a planificación y capacidad de consulta para emergencias. No se aplicaron pruebas estadísticas inferenciales, ya que el objetivo fue documentar una intervención corporativa y no comparar grupos o establecer causalidad.

Consideraciones éticas y de confidencialidad

El trabajo se basó en datos técnicos y operativos de infraestructura. La presentación se redactó de manera agregada, sin exponer coordenadas sensibles, datos personales, información comercial individualizada ni detalles que comprometan la seguridad de activos críticos. El uso de la información se limitó a describir la experiencia de implementación, sus beneficios organizacionales y sus oportunidades de mejora.

3. Resultados y discusión de resultados

Consolidación de una base geográfica corporativa

La implementación permitió administrar de forma centralizada más de 14.000 kilómetros de redes y múltiples categorías de activos críticos. Esta centralización redujo la fragmentación de la información y facilitó una lectura territorial integrada de la infraestructura, incorporando redes, instalaciones, válvulas, suministros, clientes de relevancia operativa y documentación asociada.

El resultado principal fue la disponibilidad de una base geográfica corporativa que funciona como referencia común para distintas áreas. La representación espacial de los activos permitió analizar relaciones de proximidad, continuidad, cobertura territorial y contexto urbano, aspectos que no resultan evidentes cuando la información se consulta en listados alfanuméricos o documentación aislada.

Mejora de la trazabilidad técnica y documental

El vínculo entre capas GIS, atributos técnicos y planos operativos fortaleció la trazabilidad de la información. La consulta desde un entorno único permitió localizar activos y acceder a documentación vinculada con menor dependencia de búsquedas manuales en repositorios separados. Este aspecto es especialmente relevante para actividades de mantenimiento, análisis de interferencias, planificación de obras y verificación previa a trabajos en campo.

Acceso operativo desde portal GIS y dispositivos móviles

La publicación del modelo en un portal GIS habilitó el acceso a la información desde oficinas y dispositivos móviles. Esta funcionalidad permitió trasladar al campo información que antes requería consultas previas, impresiones o intermediación de áreas técnicas. En actividades operativas, el acceso móvil mejora la oportunidad de la información y favorece una comunicación más precisa entre personal de campo, supervisión y áreas de soporte.

Incorporación del análisis espacial como barrera preventiva

El GIS permitió incorporar el análisis espacial como una barrera preventiva dentro del proceso operativo. La identificación de activos cercanos, la visualización de zonas de influencia, la relación entre red y suministros, y la ubicación de válvulas o instalaciones relevantes aportan información crítica antes de ejecutar intervenciones. De esta manera, la consulta GIS no solo funciona como inventario, sino como herramienta de anticipación y control del riesgo.

Tabla 3. Resultados operativos observados a partir de la implementación del GIS

Dimensión	Situación habilitada por el GIS	Impacto esperado en seguridad operativa
Información	Base territorial centralizada con redes, activos, suministros y documentación	Menor incertidumbre en decisiones técnicas y operativas
Trazabilidad	Consulta de atributos y planos vinculados a activos georreferenciados	Mayor control documental y reducción de errores por información dispersa
Campo	Acceso desde dispositivos móviles y visores web	Mejor oportunidad de consulta durante inspecciones, obras y emergencias
Planificación	Análisis de proximidad, cobertura y contexto urbano	Intervenciones mejor preparadas y priorización basada en evidencia espacial
Emergencias	Visualización de infraestructura crítica y elementos de maniobra	Mejor soporte para respuesta rápida y coordinación entre áreas
Interoperabilidad	Integración con sistemas corporativos y potencial uso de servicios estándar	Mayor disponibilidad del dato para aplicaciones internas y procesos transversales

Integración entre áreas técnicas, operativas y comerciales

La experiencia mostró que el GIS contribuye a integrar áreas con necesidades de información diferentes. Las áreas técnicas requieren precisión de red y documentación; las áreas operativas necesitan disponibilidad rápida para campo y emergencias; y las áreas comerciales aportan datos de suministros, clientes y estados de servicio. La integración espacial de estas fuentes favoreció un lenguaje común basado en localización, reduciendo asimetrías de información y mejorando la consistencia de los análisis.

Discusión

Los resultados son compatibles con el enfoque de gestión del riesgo, en tanto el GIS mejora la identificación, análisis, comunicación y seguimiento de riesgos asociados a infraestructura territorialmente distribuida. En redes de gas, gran parte de las decisiones preventivas dependen de conocer dónde se ubican los activos, qué elementos se encuentran próximos, qué documentación existe y qué áreas pueden verse afectadas ante una intervención o evento.

Asimismo, la experiencia se alinea con los principios de gestión de activos, especialmente en lo referido a disponer de información confiable para tomar decisiones durante el ciclo de vida de los activos. La representación geográfica permite complementar la gestión alfanumérica tradicional con una visión espacial que facilita priorizar intervenciones, detectar inconsistencias y comprender relaciones entre activos que no son evidentes en sistemas no geográficos.

Desde el punto de vista operativo, el valor del GIS no reside únicamente en mapear infraestructura, sino en transformar el mapa en una plataforma de decisión. La integración con bases corporativas, la publicación mediante portal y la disponibilidad móvil permiten que el dato espacial participe del proceso operativo cotidiano. Esta característica es relevante para la seguridad porque acerca la información al momento y lugar donde se toman decisiones.

Desde la perspectiva de los usuarios internos, la implementación del GIS permitió transformar tareas previamente fragmentadas o dependientes de consultas manuales en procesos más ágiles, visuales y trazables. Este cambio aporta valor preventivo porque facilita el acceso oportuno a información crítica para planificar trabajos, evaluar interferencias, atender emergencias y tomar decisiones operativas con mayor contexto territorial.

El estudio también muestra que la geomática puede actuar como puente entre áreas organizativas. La localización funciona como clave común para vincular información técnica,

comercial, documental y operativa. Esta capacidad resulta crítica cuando se trabaja con infraestructura extensa, múltiples localidades y activos distribuidos en entornos urbanos complejos.

Una fortaleza del caso es su escala de aplicación: el GIS no fue concebido como una herramienta aislada, sino como una plataforma corporativa con alcance sobre redes, instalaciones, suministros, documentación y procesos de campo. Otra fortaleza es la orientación preventiva, ya que el sistema incorpora análisis espacial antes de la intervención y no solo consulta posterior a eventos.

Hay beneficios observados en la práctica operativa. Los resultados deben interpretarse como evidencia técnico-operativa derivada de la experiencia de implementación y del uso cotidiano del sistema: mayor agilidad en la consulta de información, mejor disponibilidad de datos en campo, reducción de búsquedas manuales, mejora en la trazabilidad de activos y fortalecimiento de la coordinación entre áreas. En consecuencia, el alcance del trabajo corresponde a una experiencia aplicada de consolidación tecnológica y organizacional.

Tabla 4. Fortalezas, limitaciones y líneas de mejora

Aspecto	Descripción
Fortalezas	Escala corporativa, integración de activos críticos, acceso móvil, vínculo documental y enfoque preventivo aplicado a decisiones operativas.
Limitaciones	Resultados presentados como experiencia técnico-operativa.
Líneas de mejora	Integrar analítica avanzada y fortalecer interoperabilidad con servicios estándar.
Proyección	Consolidar el GIS como base para modelos de riesgo territorial, mantenimiento predictivo, tableros operativos y aplicaciones móviles especializadas.

4. Conclusiones

La implementación del GIS corporativo en Litoral Gas permitió consolidar información geográfica y técnica dispersa en una plataforma común, accesible desde oficina y campo, con capacidad de apoyar decisiones preventivas y reactivas en la distribución de gas natural. La integración de redes, activos críticos, suministros, clientes relevantes y documentación operativa fortaleció la trazabilidad, la disponibilidad de información y la planificación segura de intervenciones.

El principal aporte del trabajo es mostrar que la geomática, aplicada de manera corporativa, puede funcionar como una barrera preventiva dentro de la gestión operativa del riesgo. El GIS permite anticipar escenarios, reducir incertidumbre, mejorar la coordinación entre áreas y aportar contexto espacial a decisiones que afectan la seguridad de personas, infraestructura y continuidad del servicio.

Como línea futura, se recomienda complementar la consolidación técnica con indicadores cuantitativos de desempeño: tiempos de búsqueda de información, frecuencia de uso en campo, reducción de inconsistencias, tiempos de respuesta ante eventos, cumplimiento de controles de calidad y percepción de utilidad por parte de usuarios. Estas métricas permitirían fortalecer la evidencia sobre el impacto del GIS en la seguridad operativa y orientar nuevas etapas de mejora continua.

6. Imágenes de la implementación del GIS corporativo

Los siguientes son ejemplos visuales representativos de la implementación del GIS corporativo en Litoral Gas. Las figuras muestran la magnitud de la información integrada, la consulta de redes de alta y media presión con sus documentos asociados y la integración con mediciones operativas en línea.



Figura 1. Magnitud de activos e información técnica integrados en el GIS corporativo.

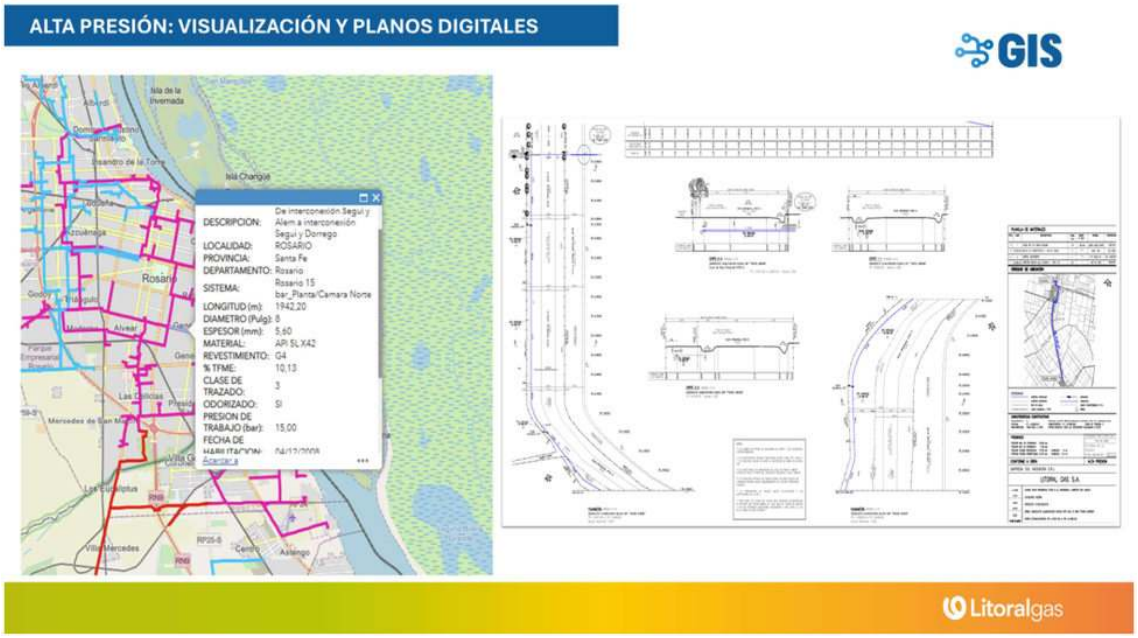


Figura 2. Visualización GIS de red de alta presión y vinculación con plano digital asociado.

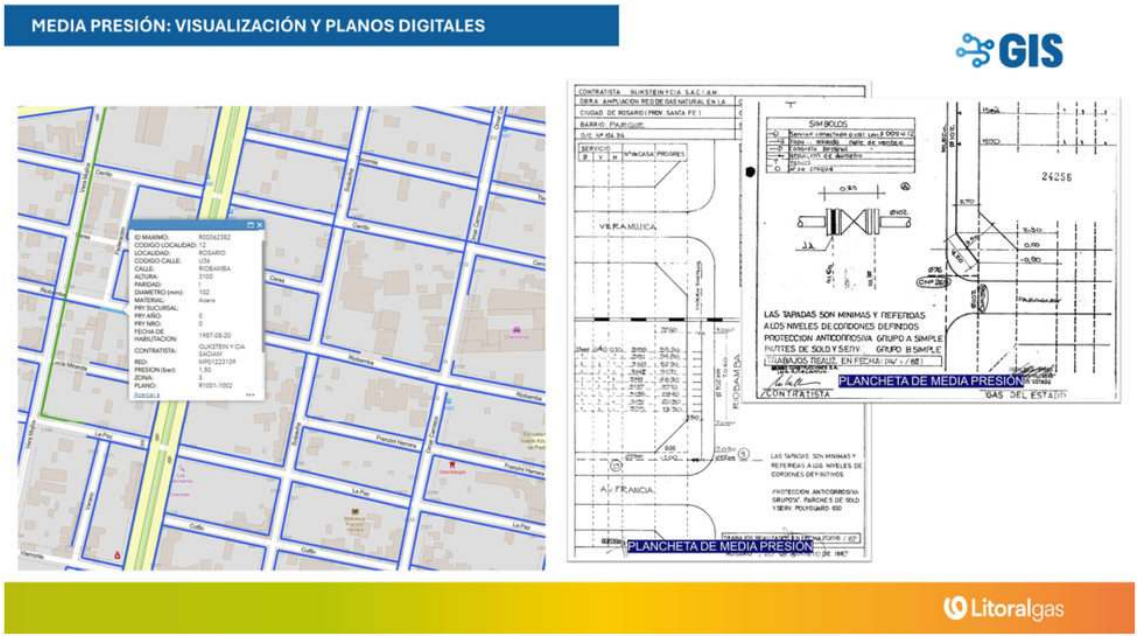


Figura 3. Visualización GIS de red de media presión y consulta de planchetas digitales operativas.

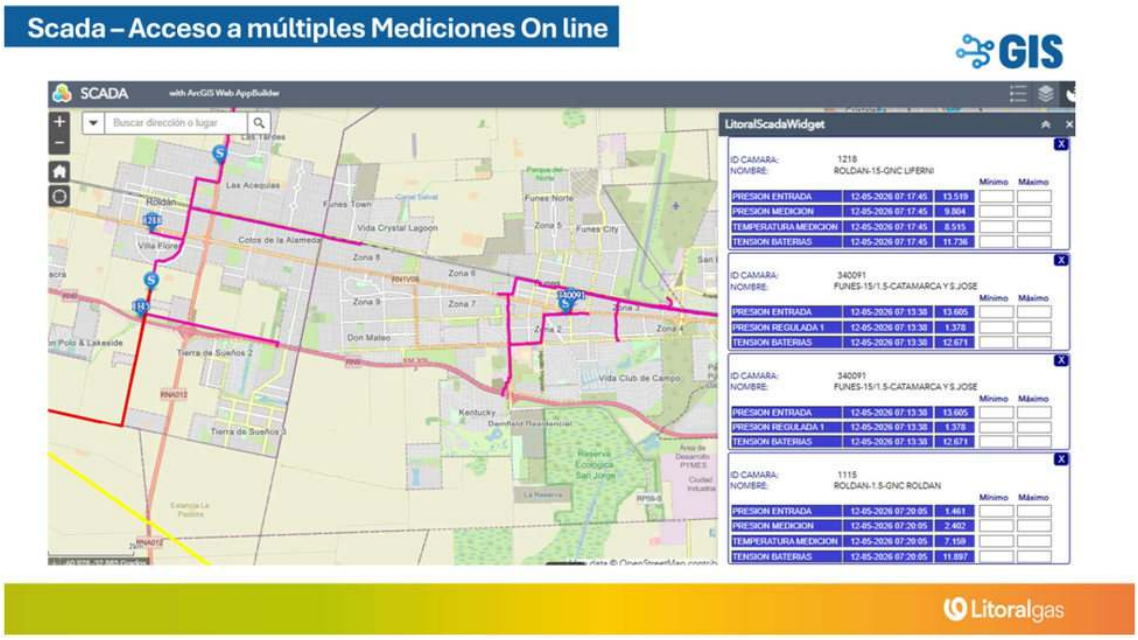


Figura 4. Integración GIS-SCADA para consulta geográfica de mediciones operativas en línea.

7. Recomendaciones prácticas derivadas del caso

1. Definir un modelo de datos corporativo con identificadores únicos de activos, dominios de atributos. 2. Evitar duplicación de datos y mejorar la trazabilidad. 3. Desarrollar indicadores de desempeño que permitan medir el impacto del GIS en tiempos, calidad de información, planificación y respuesta ante emergencias. 4. Adoptar estándares de interoperabilidad geoespacial cuando sea necesario compartir información entre plataformas, aplicaciones internas o soluciones de terceros.

Bibliografía

Esri. (s. f.-a). GIS for gas utilities: Natural gas distribution mapping and analysis.

https://www.esri.com/en-us/industries/gas/overview

Esri. (s. f.-b). Pipeline asset management: GIS data collection and analysis. https://www.esri.com/en-

us/industries/pipeline/functional-areas/asset-management

Esri. (s. f.-c). Safety and compliance: Gas utilities. https://www.esri.com/en-us/industries/gas/business-areas/safety

Ecosistema ControlTAR: integración de inteligencia artificial operativa y analítica predictiva basada en machine learning para la mitigación de la accidentabilidad en Tareas de Alto Riesgo (TAR)

Mauricio Andrés Gallego Galvis*

Dirección de Seguridad y Salud en el Trabajo, Cementos San Marcos S.A.S. BIC, Yumbo, Valle del Cauca, Colombia

Autor de correspondencia: mgallego@csmsa.co

Abstract

Introducción y objetivos: Las Tareas de Alto Riesgo (TAR) en la industria cementera demandan controles operacionales dinámicos y rigurosos que superen los enfoques analógicos o la gestión reactiva documental tradicional. El objetivo de este proyecto es presentar la arquitectura y los resultados de la implementación de ControlTAR, una plataforma tecnológica multitenant diseñada para transformar la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) mediante la digitalización inteligente de procesos críticos, la validación automatizada de aptitudes laborales y el despliegue de un motor de analítica predictiva para anticipar la accidentabilidad industrial.

Metodología: La plataforma implementa un flujo de control de extremo a extremo estructurado en tres capas inteligentes: (1) validación de aptitud en tiempo real, que verifica competencias técnicas y vigencias de Conceptos Médicos Ocupacionales (EMO) e inhabilita automáticamente a los operadores no aptos; (2) un motor de inteligencia predictiva que, sobre una ventana móvil de 12 meses de eventos de SST, calibra dinámicamente los pesos de los factores de riesgo mediante correlación de Pearson y Odds Ratio con suavizado de Laplace, y computa un Índice de Riesgo por proceso a través de una función logística sigmoide; y (3) un asistente operativo de IA que optimiza la confección documental de los análisis de riesgo.

Resultados y discusión: La adopción de ControlTAR en Cementos San Marcos S.A.S. BIC ha permitido alcanzar una efectividad del 100% en el bloqueo preventivo de personal no autorizado o médicamente vencido antes del inicio de labores críticas. El motor predictivo provee visibilidad en tiempo real sobre los principales detonantes de riesgo (top drivers), permitiendo a la alta gerencia y a los líderes de SST ejecutar intervenciones focalizadas en los procesos con tendencias al alza antes de la materialización de pérdidas.

Conclusiones: La convergencia de la inteligencia artificial operativa y el machine learning predictivo redefine el paradigma de la prevención de riesgos laborales en la Industria 4.0, estableciendo un nuevo estándar de excelencia operacional en SST plenamente escalable para sectores industriales de alto impacto.

Palabras Clave

Tareas de Alto Riesgo; inteligencia artificial; analítica predictiva; machine learning; cumplimiento legal; seguridad y salud en el trabajo.

1. Introducción

La gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en industrias de manufactura pesada, como el sector cementero, enfrenta de manera constante la criticidad de las denominadas Tareas de Alto Riesgo (TAR). Estas actividades —trabajos en alturas, espacios confinados, izaje de cargas, energías peligrosas y trabajos en caliente— concentran históricamente los mayores índices de severidad y fatalidad del entorno industrial (Reason, 1997).

Tradicionalmente, los sistemas de gestión de SST han operado bajo esquemas analógicos o mediante digitalizaciones pasivas (repositorios de archivos aislados), lo que favorece un fenómeno descrito en la literatura de ciencias de la seguridad como ritualismo documental: la elaboración de registros formalmente impecables que no reflejan la realidad del peligro en campo (Borys, 2012; Dekker, 2014). En este escenario, los Análisis de Trabajo Seguro (ATS) y los permisos de trabajo se convierten en requisitos burocráticos diligenciados de forma reactiva o retrospectiva, perdiendo su carácter preventivo original.

Asimismo, la legislación colombiana, a través del Decreto 1072 de 2015 (Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo) y de resoluciones especializadas como la Resolución 4272 de 2021 (trabajo en alturas) y la Resolución 0491 de 2020 (espacios confinados), impone un estándar riguroso de cumplimiento: todo trabajador que ejecute una TAR debe contar con aptitud médica ocupacional vigente, certificaciones de competencia técnica activas y una evaluación técnica de la tarea previa a su autorización. La omisión o el error humano en la verificación de estas condiciones no solo compromete la vida de los trabajadores, sino que expone a las organizaciones a sanciones administrativas, civiles y penales.

En el contexto de la Cuarta Revolución Industrial (Industria 4.0) surge la necesidad de transitar desde modelos de control puramente fiscalizadores hacia ecosistemas preventivos activos y predictivos (Hollnagel, 2014). Persiste, sin embargo, una laguna de conocimiento aplicado: la evidencia publicada sobre plataformas que integren, en un mismo flujo operativo, el bloqueo documental automatizado en tiempo real y la analítica predictiva de accidentabilidad en plantas cementeras es aún escasa.

El objetivo primario de este trabajo es presentar el diseño, la formulación matemática y los resultados de 12 meses de implementación de la plataforma ControlTAR en la planta de Cementos San Marcos S.A.S. BIC (Yumbo, Colombia). Como objetivos secundarios se evalúan la efectividad del bloqueo preventivo de personal no apto, el poder discriminante del motor predictivo y el impacto en la eficiencia administrativa de los procesos documentales de SST.

2. Metodología

Se aplicó una metodología de investigación-acción con enfoque analítico-tecnológico, estructurada en tres capas operativas interconectadas (Figura 1). La plataforma fue desarrollada sobre una arquitectura de alta disponibilidad que integra bases de datos

relacionales, servicios de autenticación y lógica de backend procesada en servidores en la nube. El ámbito de aplicación comprendió la totalidad de las TAR ejecutadas por personal directo, contratistas y subcontratistas en la planta durante un periodo continuo de 12 meses.

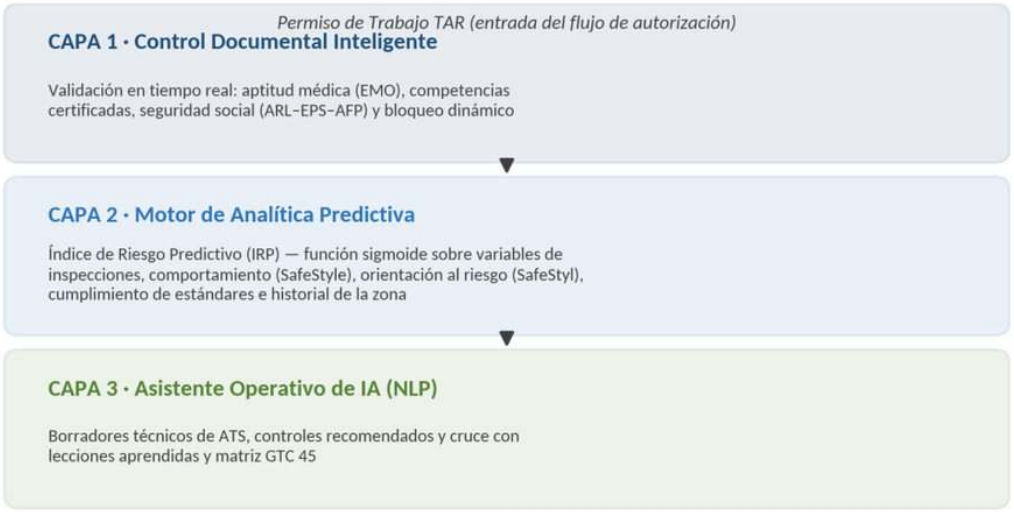


Figura 1. Arquitectura de tres capas inteligentes del ecosistema ControlTAR.

Capa 1: control documental inteligente y validación en tiempo real

Esta capa opera como un control de acceso lógico de tipo «puerta dura» (hard gate). A diferencia de los sistemas tradicionales, ControlTAR automatiza la validación cruzada de los requisitos legales del personal antes de permitir la expedición de cualquier permiso de trabajo para TAR, conforme al siguiente flujo algorítmico:

1. Autenticación e identificación: el supervisor registra la identificación del trabajador mediante interfaz web o escaneo de código.

2. Verificación de aptitud médica: el sistema consulta la base de Conceptos Médicos Ocupacionales (EMO) vigentes y verifica la aptitud específica para la tarea (por ejemplo, aptitud cardiovascular y neurológica para trabajo en alturas).

3. Verificación de competencias: se constata en tiempo real la vigencia del certificado de competencia técnica registrado ante el Ministerio del Trabajo.

4. Estatus de seguridad social: se valida la afiliación activa y cotizante en riesgos laborales (ARL), salud (EPS) y pensión (AFP).

5. Bloqueo dinámico: ante cualquier parámetro sin vigencia o idoneidad plena, el sistema bloquea de inmediato la creación del permiso, emite alertas al supervisor y al área de SST e impide el inicio físico de la labor.

Capa 2: motor de analítica predictiva

El núcleo matemático de ControlTAR estima la probabilidad de desviación crítica u operacional en una zona y turno determinados. El motor computa variables de entrada heterogéneas provenientes de las inspecciones de seguridad, las observaciones de

comportamiento de la metodología SafeStyle, las mediciones de orientación al riesgo del Inventario de Tendencias de Trabajo Seguro (SafeStyl) —que identifica perfiles conductuales temerarios, seguros o temerosos sin recurrir a variables de disciplinas médicas— y el nivel de riesgo inherente evaluado según la Guía Técnica Colombiana GTC 45 (Icontec, 2012).

Formulación matemática del modelo predictivo

Para proyectar el Índice de Riesgo Predictivo (IRP) dentro de un rango acotado de probabilidad IRP [0, 1], el motor aplica una función logística sigmoide sobre un predictor lineal ponderado z:

$$IRP = \sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}$$

(1)

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_{ins} + \beta_2 X_{beh} + \beta_3 X_{sty} + \beta_4 X_{doc} + \beta_5 X_{hist}$$

(2)

Cada variable independiente Xi se describe a continuación:

• Xins (desviación en inspecciones preoperacionales): fracción de elementos críticos no conformes detectados en las inspecciones diarias de herramientas y equipos para TAR, con Xins [0, 1], donde 1 equivale a desviación crítica severa.

• Xbeh (comportamiento de riesgo — SafeStyle): proporción normalizada de actos inseguros observados en la zona de trabajo durante los últimos turnos.

• Xsty (orientación al riesgo — SafeStyl): métrica del Inventario de Tendencias de Trabajo Seguro que cuantifica la orientación al riesgo de los colaboradores para la aplicación de planes de intervención focalizados.

• Xdoc (cumplimiento de estándares de seguridad): porcentaje inverso de cumplimiento de las listas de verificación del estándar operativo de la TAR a ejecutar.

• Xhist (exposición histórica): densidad histórica de incidentes y condiciones inseguras reportadas en la zona específica (molienda, hornos, cantera, empaque), escalada temporalmente.

Los coeficientes de ponderación βi fueron calibrados inicialmente mediante el método Delphi con un panel de expertos y se recalibran dinámicamente con los datos históricos de la planta: sobre una ventana móvil de 12 meses de eventos de SST (accidentes, incidentes, actos y condiciones inseguras y no conformidades críticas), el motor evalúa la relación temporal entre las variables y la accidentabilidad del periodo subsiguiente mediante la correlación lineal de Pearson y el cálculo de Odds Ratio con suavizado estadístico de Laplace. El resultado del IRP se clasifica automáticamente en tres rangos de intervención táctica (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación del Índice de Riesgo Predictivo (IRP) y acciones operativas asociadas.

Rango del IRP	Nivel de riesgo	Intervención operativa requerida
IRP < 0,35	Bajo	Autorización automática del permiso de trabajo. Auditorías de rutina por muestreo.
0,35 ≤ IRP < 0,70	Medio	Alerta preventiva al supervisor. Acompañamiento obligatorio en campo por el líder de SST.
IRP ≥ 0,70	Alto	Bloqueo preventivo. Revisión técnica conjunta de SST y gerencia de operaciones antes de autorizar.

Capa 3: asistente operativo de IA

Para reducir la carga cognitiva de los coordinadores y elevar la rigurosidad técnica de los análisis de riesgo, se incorporó un asistente de IA basado en Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP). El asistente procesa la descripción textual de la tarea, los equipos a utilizar y el entorno operativo, y cruza dicha información con la base histórica de lecciones aprendidas y con la matriz de peligros GTC 45 de la organización. Como resultado, genera recomendaciones de controles adicionales personalizados y redacta borradores técnicos de ATS que deben ser validados de forma interactiva por el líder de SST, preservando la supervisión humana en la decisión final.

Como indicadores primarios se definieron: (a) la efectividad del bloqueo preventivo de personal no apto; y (b) el poder discriminante del modelo predictivo, evaluado mediante el Área Bajo la Curva de la Característica Operativa del Receptor (AUC-ROC). Como indicador secundario se midió el tiempo promedio de formalización documental de un permiso TAR antes y después de la implementación. Los datos provienen de los registros transaccionales de la propia plataforma; su tratamiento respetó la normativa de protección de datos personales aplicable en Colombia.

3. Resultados y discusión de resultados

Durante los 12 meses de evaluación se digitalizaron y controlaron de forma estricta 4.320 permisos de trabajo correspondientes a Tareas de Alto Riesgo. Los resultados se presentan en el mismo orden de los métodos descritos.

Efectividad del bloqueo documental y mitigación del riesgo

El análisis de los registros transaccionales mostró una efectividad del 100% en el bloqueo de personal no apto antes del inicio de las tareas críticas. Se registraron 184 intentos de generación de permisos de trabajo vinculados a trabajadores con desviaciones documentales críticas, cuya distribución se presenta en la Tabla 2 y en la Figura 2.

Tabla 2. Distribución de intentos de acceso bloqueados por incumplimiento legal.

Motivo de bloqueo automático	Bloqueos (n)	% del total
Concepto Médico Ocupacional (EMO) vencido	68	36,96
Certificación técnica de competencia vencida o no válida	53	28,80
Inconsistencias en vigencia de seguridad social	38	20,65
Equipos de protección contra caídas (EPCC) sin inspección	25	13,59
Total de bloqueos efectivos	**184**	**100,00**

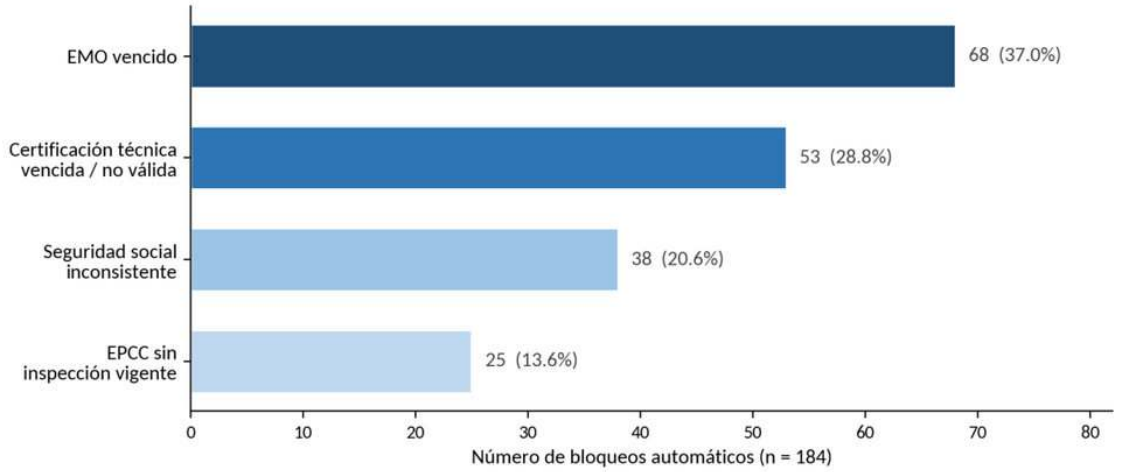


Figura 2. Distribución de los 184 bloqueos preventivos automáticos según su causa.

Gracias a este control del cumplimiento normativo y de la idoneidad psicofisiológica del personal, la organización registró cero (0) accidentes de trabajo severos o fatales durante el año de evaluación en las labores bajo control directo de la plataforma. Este resultado es compatible con la hipótesis de que la eliminación del error humano en la verificación documental contribuye a la reducción de eventos graves, si bien no puede atribuirse una relación causal exclusiva a la plataforma.

Desempeño y precisión del motor predictivo

El análisis del AUC-ROC arrojó un valor de 0,88, lo que indica un alto poder de discriminación del modelo para la identificación temprana de turnos y procesos propensos a presentar incidentes menores o desviaciones graves. El análisis de los coeficientes del modelo identificó como principales detonantes de riesgo (top drivers) la orientación al riesgo elevada o de perfil temerario (Xsty, medida por SafeStyl) y las desviaciones preoperacionales de herramientas de subcontratistas (Xins), variables con el mayor peso relativo en los incrementos del IRP.

Eficiencia administrativa y rigor técnico

El análisis comparativo antes/después mostró que el tiempo promedio de formalización de un permiso de trabajo TAR y su respectivo análisis de seguridad se redujo de 45 minutos

(esquema analógico en papel) a 7,5 minutos por tarea, una reducción del 83,3%. Este ahorro se tradujo en mayor presencia física de los líderes de SST en las áreas de ejecución, incrementando la supervisión operativa directa.

Superación del ritualismo documental en SST

La literatura describe cómo los sistemas de SST basados en papel incentivan registros formalmente perfectos que no reflejan la realidad del peligro en campo (Borys, 2012; Dekker, 2014). ControlTAR aborda esta paradoja al vincular la aprobación formal con validaciones lógicas verificables (como la vigencia del EMO en bases de datos integradas): el sistema no admite el «papel en blanco» ni la retroactividad de firmas, orientando la cultura preventiva hacia la veracidad y el rigor en tiempo real. Estos hallazgos son coherentes con la transición de un enfoque Safety-I, centrado en evitar fallas, hacia capacidades propias de Safety-II, centradas en anticipar y ajustar (Hollnagel, 2014).

El cumplimiento legal como activo preventivo

Desde la perspectiva normativa, el mecanismo de bloqueo automatizado sitúa a la organización en un nivel superior de debida diligencia frente al Decreto 1072 de 2015 y las resoluciones específicas por tarea. Ante auditorías del Ministerio del Trabajo o litigios, se dispone de una traza digital e inalterable de todas las verificaciones exigidas por ley para cada tarea ejecutada, eliminando el error de transcripción humana y la adulteración documental, con lo que se protege tanto la vida del operario como el patrimonio de la empresa.

Del enfoque reactivo al predictivo

La SST industrial ha dependido tradicionalmente de indicadores reactivos (frecuencia, severidad, tasas de accidentalidad); cuando estos alertan, la pérdida ya se ha materializado. Al proyectar un índice dinámico, los líderes de SST disponen de una ventana de decisión de 24 a 48 horas para reasignar recursos, suspender trabajos con coeficientes elevados o ejecutar intervenciones focalizadas en los factores gatillo identificados por el algoritmo.

Limitaciones

La precisión del modelo depende de la calidad y veracidad de los datos alimentados en campo (garbage in, garbage out): inspecciones preoperacionales descuidadas o falsos positivos degradan el desempeño del motor. Adicionalmente, al tratarse de un estudio de caso en una única planta, la generalización de los resultados a otros contextos industriales debe realizarse con prudencia, y el diseño antes/después no permite descartar por completo la influencia de factores concurrentes en la reducción de la accidentabilidad.

4. Conclusiones

El diseño, desarrollo y adopción del ecosistema ControlTAR en la planta de Cementos San Marcos S.A.S. BIC muestra que la convergencia de la inteligencia artificial operativa, la validación documental digital obligatoria y el modelado probabilístico predictivo redefine positivamente la gestión de la prevención de riesgos laborales en entornos de alta severidad operativa. Al transitar desde un modelo fiscalizador y documental hacia un flujo de

decisiones ágiles basado en analítica matemática, se elimina el error humano en la verificación de requisitos legales y se anticipan las desviaciones críticas antes de la ocurrencia del accidente.

Como líneas de investigación futura se plantean: (a) la integración del motor con sensores de Internet de las Cosas (IoT) instalados en los equipos de protección contra caídas (arneses y eslingas con identificación RFID/NFC); y (b) el análisis de video mediante inteligencia artificial visual para verificar de forma automatizada el uso correcto de los Elementos de Protección Personal (EPP) en zonas con alertas de IRP alto. Este caso representa un paradigma escalable para industrias de alto impacto, en la ruta hacia espacios de trabajo inteligentes, sostenibles y con un estándar de cero incidentes graves.

Agradecimientos

Al director de planta y a la alta gerencia de Cementos San Marcos S.A.S. BIC por su visión estratégica al financiar y auspiciar la investigación en tecnologías de frontera aplicadas a la SST, y a todo el personal de operarios y contratistas que se sumó al proceso de transformación digital de la prevención.

Bibliografía

Borys, D. (2012). The role of safe work method statements in the Australian construction industry. Safety Science, 50(2), 210–220. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.08.010

Decreto 1072 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Ministerio del Trabajo de Colombia. Diario Oficial No. 49.523, de 26 de mayo de 2015.

Dekker, S. (2014). Safety differently: Human factors for a new era (2.ª ed.). CRC Press.

Hollnagel, E. (2014). Safety-I and Safety-II: The past and future of safety management. Ashgate Publishing.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [Icontec]. (2012). Guía Técnica Colombiana GTC 45: Guía para la identificación de los peligros y la valoración de los riesgos en seguridad y salud ocupacional. Icontec.

Reason, J. (1997). Managing the risks of organizational accidents. Ashgate Publishing.

Resolución 0491 de 2020. Por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajos en espacios confinados. Ministerio del Trabajo de Colombia. Diario Oficial.

Resolución 4272 de 2021. Por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajo en alturas. Ministerio del Trabajo de Colombia. Diario Oficial.

La acción sindical en la Universidad del País Vasco UPV/EHU como factor de prevención de riesgos y bienestar de los trabajadores

Raúl García Bercedo[*], Amaia Castaños Urkullu[a], Jorge Revuelta Saiz[a], María Begoña Palacios Arnaiz[a], Ana María Alonso Ciriano[a]

[a]Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, (UPV/EHU)

*Autor de referencia: raul.garcia@ehu.eus

Abstract

Antecedentes

La Universidad del País Vasco tiene 7837 trabajadores de los cuales 5.901 son Personal Docente Investigador (PDI) y 1936 Personal Técnico de Gestión y Servicios (PTGAS). La acción sindical en el ámbito universitario ha sido tradicionalmente evaluada por su capacidad de negociación y litigio, pero no se ha evaluado su función preventiva. Esta comunicación pretende evaluar esa función preventiva no solo en la parte de los delegados de prevención si no también en la prevención de los riesgos psicosociales a través de la acción sindical y demostrar que la mejora de las condiciones laborales incide directamente en la prevención de riesgos. Este estudio analiza la acción de la sección sindical de CCOO en la UPV/EHU (2021-2025).

Método

Se aplicó la Metodología v1.3 (Analizador de Acción Sindical), basada en el análisis de 20.747 mensajes de correo electrónico y 1.967 personas atendidas.

Resultados

Se presentarán los resultados del análisis de los mensajes y de las acciones realizadas durante estos años.

Discusión

El hecho de poder dar respuestas a los problemas, conflictos, dudas administrativas, reclamaciones, etc. y además en un periodo corto de tiempo hace que se reduzcan los riesgos tanto físicos como psicosociales del personal.

Conclusiones

La utilidad sindical universitaria en la prevención se manifiesta en la traducción burocrática, protegiendo la salud psicosocial y reduciendo miedos institucionales. La defensa de la mejora de las condiciones de trabajo, el acompañamiento, la escucha activa, además de la investigación y denuncia de los riesgos existentes son acciones preventivas.

Palabras Clave

Prevención de riesgos, Riesgos psicosociales, Condiciones de trabajo, Agentes sociales, Bienestar.

1. Introducción

Las universidades públicas atraviesan procesos de transformación estructural que impactan directamente en las condiciones de trabajo de sus empleados. La implementación de nuevas normativas (como la LOSU en España), los procesos de estabilización de personal, las reformas en los sistemas de jubilación y las crecientes exigencias de productividad académica generan escenarios de incertidumbre y precarización.

Este estudio se basa en la experiencia de la sección sindical de CCOO en la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) durante el quinquenio 2021-2025 y pretende mostrar la evolución de la acción sindical en contextos universitarios. Este trabajo presenta los resultados de una investigación cualitativa que analiza cómo la acción sindical de CCOO UPV/EHU ha evolucionado desde un modelo reactivo-judicial hacia un enfoque preventivo-consultivo, basado en la proximidad y la construcción de derechos.

La sección sindical de CCOO UPV/EHU está formada por seis trabajadores pertenecientes al PTGAS de la universidad y un PDI. En cuanto al perfil de los integrantes de la sección sindical todos son titulados superiores y el representante del PDI es Doctor. Hay tres licenciados en derecho y varios son técnicos superiores en prevención de riesgos laborales.

Objetivo de esta comunicación es analizar la evolución y eficacia de la acción sindical de CCOO en la UPV/EHU durante el período 2021-2025, y si esta acción sindical es capaz de prevenir riesgos y aumentar el bienestar de los trabajadores .

Objetivos específicos:

1. Describir las funciones cotidianas de la acción sindical (traducción burocrática, protección sanitaria y contención del desamparo institucional).

2. Analizar la evolución temática de la acción sindical desde una fase reactiva-judicial hacia una fase consultiva-preventiva.

3. Examinar la brecha de género en la demanda sindical y sus implicaciones preventivas.

2. Metodología

Método 1

Se ha adoptado un diseño de investigación cualitativo con triangulación metodológica, que integra el análisis narrativo de casos con la interpretación contextualizada de indicadores cuantitativos depurados. El enfoque es longitudinal retrospectivo, cubriendo el quinquenio 2021-2025.

Los datos que se han utilizado son el registro sistemático de 20.747 mensajes de correo electrónico iniciados por la plantilla de la UPV/EHU y atendidos por la sección sindical de CCOO durante el período 2021-2025.

Criterios de inclusión:

• Mensajes iniciados por personal de la UPV/EHU (PDI, PTGAS, personal investigador predoctoral y postdoctoral).

• Mensajes con contenido de consulta, reclamación o solicitud de asesoramiento sindical.

• Correos con trazabilidad completa (cadena de respuesta sindical).

Criterios de depuración metodológica:

• Deduplicación por email: Eliminación de correos duplicados por reenvíos o respuestas en cadena para evitar inflación de cifras.

• Diccionario onomástico vasco/castellano: Inferencia de género a partir de nombres propios, con criterios contextuales para nombres ambiguos.

• Filtro jurídico estricto: Clasificación temática basada en criterios legales y normativos.

• Precisión ≥93% en la identificación de variables clave.

El análisis se desarrolló en cinco fases:

Fase 1: Codificación temática

Clasificación de los mensajes en categorías temáticas: Asesoría Jurídica, OPE/Bolsas, Retribuciones, Salud Laboral, Jubilación, Permisos/Conciliación, entre otras.

Fase 2: Análisis longitudinal

Trazado de la evolución anual de volúmenes, temáticas dominantes y perfiles de demanda.

Fase 3: Selección de casos emblemáticos

Identificación de casos cualitativamente significativos que ilustran tendencias cuantitativas (muestreo intencional basado en criterios de representatividad temática y complejidad).

Fase 4: Análisis narrativo

Reconstrucción de las trayectorias de acompañamiento sindical a partir de las cadenas de correo, identificando hitos de intervención y resultados.

Fase 5: Triangulación

Contraste entre hallazgos cuantitativos (frecuencias, tendencias, porcentajes) y narrativas cualitativas (testimonios, casos, relatos de proceso.

3. Resultados y discusión de resultados

El análisis de los 20.747 mensajes revela un modelo de intervención basado en la inmediatez y el acompañamiento:

• 11.029 mensajes iniciados por la plantilla real (deduplicada).

• Mediana de respuesta: 4,7 horas (con pico de 8h en 2025).

• 9-12 correos cruzados por persona atendida (densidad de intercambio).

• 1.967 personas únicas atendidas en el quinquenio.

Resultados

Proximidad iterativa y contención preventiva

Aspecto técnico-administrativo

La alta densidad de intercambio (9-12 mensajes/persona) no es ineficiencia; es la prueba del acompañamiento. Cada correo adicional representa una gestión con Vicerrectorado/Gerencia, una adaptación de puesto, una derivación jurídica o una contención emocional.

Caso emblemático: M (OPE PTGAS)

Recursos de alzada + reposición + contencioso por título B2 no puntuado. La intervención sindical requirió 11 mensajes cruzados, incluyendo revisión normativa, redacción de escritos y seguimiento de plazos.

Caso emblemático: S (Investigador Postdoctoral)

Modelo de reclamación + guía burocrática para recuperar 2.885,28 €.

Protección sanitaria y riesgo psicosocial

Aunque de menor volumen (58-132 mensajes/año), esta categoría presenta mayor gravedad y complejidad.

Caso emblemático: V (Investigador Predoctoral)

Secuelas hepáticas postparto + miedo a represalias. Su demanda no es solo jurídica; también es emocional. La respuesta sindical combina cercanía humana, precisión técnica y escalado a vicerrectorado.

Caso emblemático: P (PDI)

COVID persistente + silencio del Servicio de Prevención. El sindicato activa el protocolo de riesgos laborales y negocia adaptaciones de puesto.

Caso emblemático: A (PDI)

Baja por acoso + denegación técnica de licencia. Intervención multidimensional: asesoría jurídica, acompañamiento psicológico y presión institucional.

Contención del desamparo institucional

Aproximadamente el 90% de los conflictos se resuelven antes de llegar a la vía judicial.

Caso emblemático: N (Seguridad Social)

Bloqueo de prestación por embarazo. El sindicato interviene con celeridad, evitando la pérdida de derechos.

Caso emblemático: E (PDI)

Descuento unilateral de 2.166 € sin comunicación. Reclamación administrativa que revierte la situación sin necesidad de litigio.

Caso emblemático: M (PTGAS)

"Juicio sumarísimo" interno por moho en biblioteca. El sindicato media entre la trabajadora y la unidad de prevención de riesgos

Discusión

La acción sindical se configura como un servicio de proximidad de alta intensidad que trasciende la mera "ventanilla de respuestas rápidas". Esto implica:

• Traducción burocrática: Traducir el lenguaje administrativo opaco.

• Protección psicosocial: Contener el miedo, la incertidumbre y la percepción de desamparo.

• Acompañamiento iterativo: Sostener el caso a lo largo del tiempo, adaptando la intervención a la evolución del conflicto.

Esta configuración se aproxima a lo que la literatura denomina "sindicalismo de servicios" (Frege & Kelly, 2003), pero con un componente transformador adicional: la resolución de casos individuales alimenta la construcción de derechos colectivos.

Resultados

Relación con la administración: evitar la judicialización como medida de prevención eficaz

Resultados cuantitativos

Evolución:

2021: Fase Reactiva-Judicial

• Asesoría Jurídica lidera: 1.748 mensajes (48,5%)

• 67,8% de personas atendidas derivan a servicios jurídicos

• Contexto: Imposición unilateral de recortes (jubilación, cuota patronal, sexenios)

2023: Fase de Incertidumbre Normativa

• Pico absoluto: 534 personas atendidas y 5.199 mensajes

• OPE (Oferta Pública de Empleo)/Bolsas de Sustitución lidera: 570 mensajes

• Brecha de género se equilibra: 52,6% H / 47,4% M

• Contexto: Implementación de la LOSU (Ley Orgánica del Sistema Universitario)

2024-2025: Fase Consultiva-Preventiva

• Permisos/Conciliación y Jubilación lideran

• Litigiosidad real se estabiliza en ~10% de personas atendidas

• Afiliadas generan 60,4% del volumen de mensajes

Resultados cualitativos: casos emblemáticos por fase

Caso Cuota Patronal (2021-2024)

La universidad descuenta ilegalmente la cuota patronal del salario de investigadores postdoctorales. CCOO coordina:

• Reclamaciones individuales

• Conflicto colectivo

• Presión en Inspección de Trabajo

Resultado: Sentencia del Supremo (2024) que establece doctrina casacional favorable. La estrategia combina vías sin fetichizar ninguna: mesa negociadora + Inspección de Trabajo + vía judicial + movilización + alianza intersindical.

Caso Figuras Transitorias LOSU (2023)

Investigadores afectados por la extinción de figuras como "Asociado" acuden masivamente. CCOO:

• Construye posiciones colectivas

• Coordina frente intersindical histórico (CCOO-LAB-STEILAS-ELA)

• Culmina en acuerdos de estabilización y sentencias del Supremo sobre sexenios para temporales

Caso Acuerdos de Jubilación (2024-2025)

Tras la anulación unilateral de 2022, CCOO negocia nuevos acuerdos que:

• Recuperan reducciones de jornada

• Amplían permisos

• Permiten acumulación de reducciones no disfrutadas (hasta 125%)

Resultado: 310 mensajes sobre jubilación en 2024; 225 en 2025.

Discusión

La caída del porcentaje de personas en vía judicial (de 67,8% en 2021 a ~10% en 2025) indica mayor capacidad de resolución preventiva. El sindicato eficaz no se mide por cuántos juicios gana, sino por cuántos evita mediante:

• Mediación técnica: Intervención temprana con argumentos normativos sólidos.

• Negociación con Vicerrectorado/Gerencia: Canales de diálogo institucionalizados.

• Asesoramiento temprano: Prevención de errores procesales que llevarían a litigio.

Esta evolución coincide con lo que la teoría organizacional denomina "aprendizaje institucional" (Argyris & Schön, 1996): la organización sindical internaliza patrones de conflicto y desarrolla rutinas de intervención que anticipan y resuelven problemas antes de que escalen.

Resultados

Cuantitativos: Demografía y brecha de género

Año	Hombres	Mujeres	Contexto Sindical
2021	60,9%	39,1%	Máxima litigiosidad; brecha estructural
2022	62,8%	37,2%	Normalización post-pandemia
2023	52,6%	47,4%	Shock LOSU (Ley Orgánica del Sistema Universitario): amenaza estructural moviliza a mujeres
2024	55,2%	44,8%	Retorno a brecha "normal"
2025	58,4%	41,6%	Complejidad técnica (OPEs) amplía brecha

Cualitativos

1. Pobreza de tiempo: Sobrecarga de cuidados que limita la disponibilidad para gestionar reclamaciones.

2. Menor percepción de seguridad: Menor disposición a iniciar reclamaciones formales por miedo a represalias.

3. Accesibilidad de canales: Canales de atención percibidos como menos accesibles o seguros para mujeres.

El "efecto LOSU" de 2023 es revelador: ante una amenaza estructural al empleo, las trabajadoras se movilizan masivamente hacia el sindicato (47,4%). Esto sugiere que la utilidad percibida en contextos de crisis supera barreras de acceso.

Caso emblemático: V (Investigadora Predoctoral)

Confiesa: "me da 'miedo' volver porque creo que me van a machacar". Su demanda no es solo jurídica; es de contención emocional.

Discusión

La brecha de género en la demanda sindical se inscribe en un fenómeno más amplio de división sexual del trabajo sindical (Ledwith, 2012). Las mujeres tienden a subrepresentarse en los canales formales de reclamación, pero se movilizan cuando perciben que sus derechos fundamentales están en juego.

Implicaciones organizativas:

• Diseñar protocolos de proximidad con perspectiva de género.

• Establecer horarios flexibles de atención.

• Crear canales discretos para consultas sensibles (acoso, salud mental).

• Formación delegacional en sesgos de género y comunicación inclusiva

4. Conclusiones

1. La acción sindical es un servicio de proximidad que es capaz de reducir los riesgos laborales. Tanto riesgos físicos como psicosociales.

El análisis de 20.747 mensajes revela que el sindicato no "responde" pasivamente, sino que construye viabilidad mediante acompañamiento iterativo (9-12 mensajes por caso). Cumpliendo tres funciones estructurales: ayuda técnico-administrativa, protección sanitaria y contención del desamparo institucional.

2. El paso de la judicialización a la prevención reduce los riesgos psicosociales y aumenta el bienestar de los trabajadores.

La caída del porcentaje de personas en vía judicial (del 67,8% en 2021 al ~10% en 2025) indica mayor capacidad de resolución preventiva. El sindicato ha transitado desde una fase reactiva-judicial (2021-2022) hacia una fase consultiva-preventiva (2024-2025), instalando derechos estructurales y focalizando en calidad de vida laboral.

3. La defensa de la mejora de las condiciones de trabajo, el acompañamiento, la escucha activa, además de la investigación y denuncia de los riesgos existentes son acciones preventivas

4. La brecha de género es un riesgo que afecta la salud mental y el bienestar, la proximidad con perspectiva de género puede reducir este riesgo.

La persistente infrarrepresentación femenina (39-45% de la demanda sindical, frente al ~60% de la plantilla) no refleja menor necesidad, sino barreras de acceso. El "efecto LOSU" de 2023 (equilibrio 52,6%-47,4%) demuestra que, en contextos de crisis, las mujeres se movilizan masivamente, superando barreras. Esto sugiere la necesidad de protocolos de proximidad con perspectiva de género.

Bibliografía

Argyris, C., & Schön, D. A. (1996). Organizational learning II: Theory, method, and practice. Addison-Wesley.

Frege, C. M., & Kelly, J. (2003). Union revitalization strategies in comparative perspective. European Journal of Industrial Relations, *9*(1), 7–24. https://doi.org/10.1177/095968010391002

Ledwith, S. (2012). Gender politics in trade unions. Representation and participation. In The Routledge Companion to Employment Relations. Routledge.

Integración de higiene ocupacional, salud y ergonomía en la evaluación del riesgo biomecánico por vibración de cuerpo entero en conductores de equipos mezcladores del sector cementero

Danna Villarraga N.[1], Ariel Ramírez B.[1] y Carlos Gómez A.[2]

[1] Rehavid, Colombia · [2] Argos, Colombia

danna.villarraga@rehavid.com.co · ariel.ramirez@rehavid.com.co · carlos.gomez.arteaga@argos.com.co

Autor de correspondencia: ariel.ramirez@rehavid.com.co

Abstract

Objective. From a preventive standpoint, to integrate hygienic, ergonomic and clinical evidence in order to explain whole-body vibration (WBV) exposure and its relationship with musculoskeletal symptoms in concrete-mixer truck operators in the cement sector, showing that the convergent reading of two complementary approaches —hygienic measurement and ergonomic-clinical analysis— is more accurate and of greater preventive impact than an assessment based on vibration magnitude alone.

Methods. A sequential explanatory design was used, combining a focused literature review, ergonomic assessment, behavioural observation, cab anthropometry and WBV monitoring under regular and irregular routes, loaded and unloaded conditions, and different vehicle platforms.

Results. Under the operating conditions assessed, mixer-truck driving was predominantly characterised by low and medium WBV risk exposures (42 of 54 measurements; 77.77%; 95% CI 65.1–86.8%), with 22.22% in the high-risk band; nonetheless, 62.96% of measurements were at or above the action level. The integrated analysis showed that risk cannot be explained by vibration magnitude alone. The highest exposure was associated with the unloaded condition and with the platform showing the highest WBV central tendency, whereas the ergonomic component showed greater postural variability, poorer driving habits and higher compensatory demand among symptomatic workers. The seat emerged as a primary control barrier: foam condition, damping performance and anthropometric adjustment modulated vibration transmission and discomfort.

Conclusions. The cohesion of occupational hygiene with ergonomics and health yields a more accurate and actionable reading of risk: it supports prioritising the elimination of high-risk (red) situations and, above all, the early attenuation of medium-risk (yellow) scenarios before early lumbar symptom progression. In this reading, driving behaviour appears as a modifiable preventive lever; even workers with a baseline condition can attenuate their vulnerability when they adopt better driving habits, which reinforces the value of intervening on behaviour and not only on the source. Driving a mixer truck does not in itself represent a predominantly high-risk exposure: risk increases when operational, ergonomic and individual modifying factors converge. Among the latter, higher body weight showed a trend consistent with greater clinical

vulnerability (obesity in 33.3% of symptomatic vs. 11.3% of healthy workers; OR = 3.93), although it did not reach statistical significance (p = .1767) and remains an exploratory,

hypothesis-generating finding. Seat maintenance, driving habits, speed control, anthropometric adjustment and differential follow-up of symptomatic workers are key interventions.

Resumen

Objetivo. Desde un enfoque preventivo, integrar la evidencia higiénica, ergonómica y clínica disponible para explicar la exposición a vibración de cuerpo entero (VCE) y su relación con síntomas musculoesqueléticos en conductores de vehículos mezcladores del sector cementero, mostrando que la lectura convergente de dos abordajes complementarios —la medición higiénica y el análisis ergonómico-clínico— resulta más exacta y de mayor impacto preventivo que la valoración basada únicamente en la magnitud vibratoria.

Método. Se desarrolló un diseño secuencial explicativo basado en el enfoque metodológico, que combinó una revisión focalizada de literatura Q1/Q2, un piloto ergonómico-conductual inicial en zona centro, una ampliación multicentro en zona norte, la relectura analítica del monitoreo higiénico 2024–2025 y el cruce con la base clínica osteomuscular 2023.

Resultados. El componente ergonómico incluyó 12 trabajadores en la Regional Centro y 39 trabajadores en la ampliación específica de la Regional Norte, con un cierre nacional de 7 plantas y 50–51 observaciones según el corte documental. En el monitoreo higiénico se realizaron 54 mediciones; 40.74% se ubicó en riesgo medio, 37.03% en riesgo bajo y 22.22% en riesgo alto. En conjunto, el 77.77% de las mediciones (IC 95% 65.1%–86.8%) correspondió a riesgo bajo o medio, si bien el 62.96% se situó en o por encima del nivel de acción. La condición vacía presentó AV superior a la condición cargada (1.019 vs. 0.862 m/s²; p = .0023 en t pareada; p = .0004 en Wilcoxon), mientras la ruta irregular mostró mayor severidad que la ruta regular (1.742 vs. 0.940 m/s²; p = .0009). En la ampliación ergonómica, la hipótesis de vía/cargado-vacío fue especialmente consistente en el personal sintomático (p = .034), y el comportamiento de conducción se asoció de forma robusta con la condición de salud (p = .0156 en vacío; p = .0089 en cargado).

Discusión. La lectura integrada invita a entender el riesgo medio no como un hallazgo tranquilizador, sino como una valiosa ventana de oportunidad para la prevención: cuando se sostiene sobre el nivel de acción y coincide con sillas con desgaste, ausencia de apoyabrazos, trayectos vacíos, hábitos compensatorios y condición sintomática, conviene actuar a tiempo para acompañar al trabajador y evitar la aparición temprana o la consolidación de sintomatología lumbar. En las condiciones evaluadas, la actividad no se comporta como una tarea intrínsecamente de alto riesgo biomecánico, pero determinados factores operativos, ergonómicos e individuales incrementan la exposición. Entre ellos, el mayor peso corporal mostró una tendencia clínicamente compatible con mayor vulnerabilidad (obesidad en 33.3% de sintomáticos frente a 11.3% de sanos; OR = 3.93) que no alcanzó significancia estadística (p = .1767) y se interpreta como hallazgo exploratorio. La relación entre condición de salud y hábito no es unidireccional: el comportamiento es un factor modificable que, incluso en personal con patología de base, puede ayudar a atenuar la carga efectiva transmitida.

Conclusiones. La cohesión de la higiene ocupacional con la ergonomía y la salud ofrece una explicación más exacta y accionable del riesgo. La gestión preventiva sectorial debe eliminar los eventos rojos, pero también atenuar tempranamente los amarillos mediante mantenimiento de sillas, ajuste antropométrico, control de velocidad, entrenamiento y seguimiento diferencial al personal sintomático. La conducción de vehículos mezcladores se caracterizó predominantemente por exposiciones de riesgo bajo y medio; no obstante, el riesgo biomecánico aumenta cuando confluyen la conducción en vacío, las rutas irregulares, el deterioro del asiento y determinadas características individuales del conductor. Entre estas últimas, el mayor peso corporal mostró una tendencia compatible con mayor vulnerabilidad

clínica, por lo que constituye una variable relevante para futuras investigaciones y para la personalización de las estrategias preventivas. En esta lectura, el personal con patología de base no constituye un grupo de riesgo fijo, sino un objetivo preferente de entrenamiento conductual.

Palabras Clave

whole-body vibration; low back pain; ergonomics; occupational hygiene; driving behaviour; cement sector. vibración de cuerpo entero; lumbalgia; ergonomía; higiene ocupacional; conducción ocupacional; sector cementero.

1. Introducción

Los trastornos musculoesqueléticos asociados a la conducción ocupacional siguen siendo una de las cargas de salud más relevantes entre operadores de transporte pesado. Las revisiones sistemáticas y metaanálisis recientes muestran alta prevalencia de dolor lumbar, molestias cervicales y desórdenes de miembro superior en conductores profesionales, con gradientes de riesgo relacionados con tiempo de exposición, características del vehículo y exigencias operativas (Chen et al., 2024; Pickard et al., 2022).

En el contexto del sector cementero, el problema adquiere complejidad adicional: rutas con tramos urbanos, perimetrales e irregulares, ciclos operativos cargado/vacío, plataformas vehiculares heterogéneas y diferencias individuales entre personal sano y sintomático. El objetivo del presente manuscrito, planteado desde una lógica preventiva, fue integrar el componente ergonómico multicentro, la ampliación de zona norte y el monitoreo higiénico de VCE/VDV para mostrar que la cohesión de dos abordajes complementarios —el higiénico y el ergonómico-clínico— produce una explicación más exacta del riesgo y de mayor impacto para la prevención temprana que cualquiera de ellos por separado.

Fundamentación teórica o conceptual

Dentro de este conjunto de exposiciones, la vibración de cuerpo entero ha sido reconocida como uno de los determinantes más consistentes del deterioro lumbar y de la incapacidad relacionada con la espalda. La evidencia longitudinal y metaanalítica apoya una relación dosis–respuesta entre VCE y dolor lumbar, lumbociática y ausentismo, especialmente cuando la vibración se combina con posturas estáticas prolongadas, trayectos irregulares y sedestación sostenida (Bovenzi, 2010; Burström et al., 2015; Barrero et al., 2019; Mendes et al., 2021).

No obstante, explicar el riesgo solo a partir de la aceleración medida resulta insuficiente. La literatura ha mostrado que la postura sedente, la prominencia del soporte lumbar, el diseño del asiento, la suspensión de la silla y la forma en que el conductor se adapta a la cabina modifican la carga transmitida al sistema musculoesquelético (De Carvalho & Callaghan, 2012; Okunribido et al., 2006, 2008; Tinitali et al., 2021). En paralelo, estudios experimentales han comprobado que los sistemas de suspensión del asiento, especialmente los neumáticos o autoajustables,

pueden disminuir exposición, dolor y discapacidad percibida (Blood et al., 2010, 2015; Du et al., 2018; Dennerlein et al., 2022).

2. Metodología

Enfoque secuencial explicativo desarrollado

Se adoptó un diseño secuencial explicativo con integración convergente de cuatro fuentes: (a) revisión focalizada de literatura Q1/Q2 en ergonomía, biomecánica, salud ocupacional e higiene industrial; (b) piloto ergonómico-conductual inicial con videograbación, observación directa y antropometría; (c) ampliación multicentro del componente ergonómico en zona norte; y (d) relectura analítica del monitoreo higiénico 2024–2025 de vibración continua (AV) e impacto (VDV). El enfoque metodológico siguió cuatro fases: pre-análisis, recolección, análisis y comprobación de hipótesis.

El consolidado nacional del componente ergonómico reportó 3 plantas, 12 trabajadores y 12 mixer en la Regional Centro, y 4 plantas, 38 trabajadores y 38 mixer en la Regional Norte, para un total país de 7 plantas y 50 trabajadores. Sin embargo, el informe específico de ampliación norte actualizó esa fase a 39 colaboradores observados y la ficha estadística del proyecto consignó un universo de 51 observaciones ergonómicas. Para mantener transparencia metodológica, este manuscrito conserva la distribución regional final de 12 observaciones en centro y 39 en norte, y reporta el total nacional como 50–51 según el corte documental utilizado (Equipo técnico del proyecto sectorial, 2024a, 2024b).

En la documentación consolidada se registraron aproximadamente 325 horas efectivas de grabación, 20 horas de captura de medidas de vehículos y operadores, 73 horas de análisis biomecánico y de seguridad, 16 horas de análisis estadístico, 12 horas de análisis bibliográfico y 8 horas de revisión de prácticas de mantenimiento. La condición de carga se distribuyó en 64% cargado y 36% vacío en el consolidado nacional. La ampliación norte incrementó el tiempo real de observación a aproximadamente 6.8 horas por colaborador, mientras en centro el tiempo típico fue cercano a 3.5 horas.

Las hipótesis rectoras del estudio, formuladas por el equipo, fueron cuatro: (1) la silla y su ajuste antropométrico influyen en los hábitos de conducción; (2) existe diferencia significativa entre vehículo cargado y vacío; (3) la selección de las vías modifica la severidad de exposición; y (4) los hábitos de conducción influyen en la vibración de cuerpo entero. Estas hipótesis se analizaron en relación vehículo–vía–conductor, con variables de mantenimiento, velocidad, ajuste antropométrico, condición cargado/vacío, tipo de transmisión y comportamiento observable en cabina.

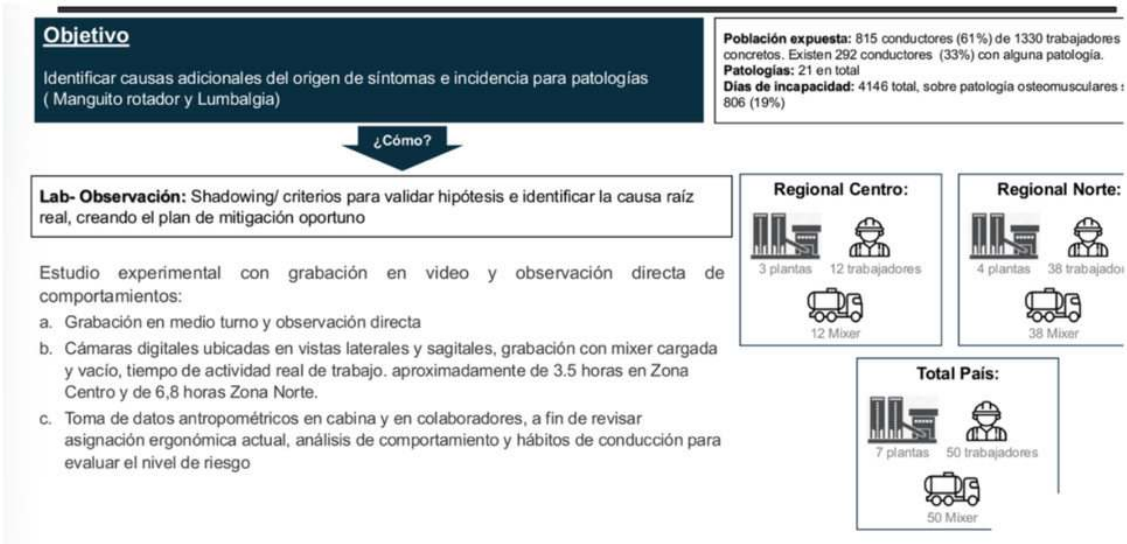


Figura 1. Alcance nacional, fases metodológicas y ampliación específica de zona norte del componente ergonómico. Las láminas proceden del resumen multicentro del proyecto y del informe de ampliación norte; se conservaron únicamente elementos analíticos de valor documental.

Criterios de integración analítica y estrategia estadística

El cierre analítico evitó una lectura lineal. Se definieron seis criterios: cruce entre estudio ergonómico-conductual e higiénico; evaluación de linealidad/no linealidad; contraste de hipótesis por velocidad y condición cargado/vacío; comparación entre conducción en ruta regular e irregular; análisis de IMC/obesidad; y selección de pruebas t de Student, Wilcoxon y U de Mann–Whitney según estructura del dato. La documentación del proyecto estableció un nivel de significación a priori de $\alpha \leq .05$, con uso de Wilcoxon para comparaciones emparejadas cargado/vacío, U de Mann–Whitney para grupos independientes y t de Student para edad y antigüedad (Equipo técnico del proyecto sectorial, 2024a).

El alcance muestral se define frente a una población expuesta estimada de aproximadamente 900 conductores. El componente higiénico caracterizó 54 mediciones de grupos de exposición similar (GES) y el componente ergonómico observó alrededor de 50 trabajadores, lo que corresponde a fracciones de muestreo de 6.0% y 5.6%, respectivamente. Al situarse ambas por debajo del 10% de la población, se satisface la condición del 10% y la corrección por población finita resulta despreciable (FPC ≈ 0.97, esto es, una reducción del error estándar cercana al 3%); en consecuencia, los intervalos de confianza para proporciones se estimaron con el método de Wilson sin dicha corrección. Estos intervalos cuantifican la variabilidad de muestreo, no el sesgo de selección: dado que el muestreo fue por GES y no probabilístico, con sobre-representación deliberada de la ruta irregular (18 de 54 mediciones), las proporciones observadas describen las condiciones evaluadas y no constituyen estimaciones de prevalencia poblacional.

Con el fin de preservar la confidencialidad sectorial, la empresa se describe como un operador nacional del sector cementero. Las plataformas vehiculares fueron recodificadas como Plataforma A, Plataforma B y Plataforma C, y los sitios operativos como Sitio 1 y Sitio 2. Las referencias a plantas, ciudades y sujetos fueron removidas o recodificadas en la redacción del manuscrito. Por el carácter observacional y exploratorio del diseño, los contrastes se interpretan en clave asociativa y no como demostraciones causales.



Figura 2. Ruta analítica de integración, formulación de hipótesis y estado final de comprobación. La hipótesis de vía mostró soporte limitado por disponibilidad muestral específica, mientras las hipótesis de silla, carga y comportamiento se confirmaron en el cierre del proyecto.

Tabla 1. Cobertura regional y documental del componente ergonómico

Fase / fuente	Regional Centro	Regional Norte	Total / corte	Salida analítica
Piloto ergonómico inicial	3 plantas; 12 trabajadores; 12 mixer; ~3.5 h/observación	—	12 observaciones	Videograbación, antropometría y hábitos de conducción
Ampliación multicentro	—	4 plantas; 39 trabajadores; 39 mixer; ~6.8 h/observación	39 observaciones	Confirmación de hipótesis y ampliación de variabilidad operativa
Consolidado nacional 2024	3 plantas; 12 trabajadores	4 plantas; 38 trabajadores	50 observaciones	Resumen país, horas, demografía y flota
Cierre integrador	12 observaciones centro	39 observaciones norte	50–51 según corte documental	Integración ergonomía–higiene–salud

Nota. El consolidado nacional reportó 50 observaciones (12 centro + 38 norte), mientras el informe específico de ampliación norte y la ficha estadística del proyecto actualizaron la fase norte a 39 colaboradores. El manuscrito conserva ambas cifras como evidencia de versionamiento documental.

Tabla 2. Hipótesis formuladas por el equipo Rehavid, variables operativas y síntesis de evidencia

Hipótesis	Variables operativas	Evidencia del piloto centro	Evidencia de la ampliación norte	Conclusión integrada
Silla y ajuste antropométrico	Mantenimiento; velocidad; ajuste antropométrico; cargado/vacío	Desajustes posturales, ausencia de apoyabrazos y variación de postura según cabina; tabla de hipótesis y análisis antropométrico	Confirmada en la tabla de comprobación; mantenimiento y ajuste figuran como variables críticas	Comprobada. La silla es barrera de control primaria y modulador de la transmisión vibratoria
Vehículo y condición de carga	Observación directa del estado; cargado/vacío	Diferencia significativa vacío–cargado, especialmente en personal sintomático	Conclusión operativa estable: mayor riesgo en vehículo vacío	Comprobada. El retorno sin carga amplifica el riesgo biomecánico
Vía y tipo de ruta	Ruta regular/irregular; pendiente; calidad de superficie	Solo una vía de significancia; el piloto original reportó soporte limitado por muestra	La ampliación y el monitoreo higiénico mostraron más severidad en ruta irregular	Soporte parcial a fuerte. La hipótesis gana robustez al integrarse con el componente higiénico
Conductor y hábitos de conducción	Timón, palanca, biomecánica, uso de apoyos e interfases	Diferencias significativas entre sanos y sintomáticos en comportamiento; mayor puntuación en asintomáticos	La ampliación norte concluyó mejores hábitos en personal antiguo y sano	Comprobada. El comportamiento modifica la respuesta funcional ante la vibración y es una palanca modificable

Tabla 2. Síntesis de hipótesis, variables y resultados integrados del componente ergonómico.

3. Resultados y discusión de resultados

Resultados e indicadores de impacto: hallazgos ergonómicos y conductuales

En la ampliación de zona norte se observaron 39 colaboradores, con aproximadamente 6.8 horas de actividad real por trabajador, videograbación en vistas laterales y sagitales, toma de datos antropométricos en cabina y un análisis específico de hábitos de conducción, vectores posturales y prácticas de mantenimiento. Esa fase confirmó tres resultados operativamente estables: (i) diferencias significativas entre carro cargado y vacío, con más riesgo en carro vacío; (ii) mejores hábitos de conducción en personal antiguo y sano; y (iii) mayor predisposición a

síntomas en el personal sintomático, asociada a posibles hábitos y ajustes compensatorios (Equipo técnico del proyecto sectorial, 2024b).

Este último punto merece una lectura preventiva y no determinista. El hábito de conducción es un factor modificable, de modo que el personal con patología de base no está predeterminado a un peor desempeño: algunas de las adaptaciones compensatorias observadas sugieren que, cuando un trabajador sintomático incorpora prácticas más cuidadosas —control de velocidad, uso correcto de apoyos y ajuste de la silla—, puede atenuar parcialmente la carga transmitida y, con ello, su vulnerabilidad clínica. Esta posibilidad convierte al comportamiento en una palanca preventiva prioritaria justamente en el subgrupo más expuesto, y no en un rasgo fijo del grupo sintomático.

El resumen multicentro añadió contexto demográfico y operacional: 45 hombres y 5 mujeres en el consolidado, 23 operadores en el rango de 0–44 años y 27 de 45 años o más, con predominio de configuraciones mecánicas convencionales en las plataformas más antiguas y un patrón de observación donde la flota se distribuyó principalmente entre dos plataformas convencionales y una plataforma reciente de ajuste neumático. En la ampliación norte, el perfil específico fue de 36 hombres y 3 mujeres, 18 operadores de 0–44 años y 21 de 45 años o más, 24 vehículos de la Plataforma A, 14 de la Plataforma B y 1 de la Plataforma C/Scania, con la misma distribución 64% cargado y 36% vacío.

Desde el punto de vista ergonómico, el cursograma comparativo mostró mayor variación segmentaria y mayores acciones musculares en la conducción con palanca mecánica, con ausencia de apoyabrazos, apoyos improvisados en palanca y mayor fuerza concéntrica de miembro superior. En contraste, las plataformas automáticas redujeron esa carga manual, aunque mantuvieron exposición por conducción con un solo hemicuerpo, interacción con pantallas y vibración en condición vacía.

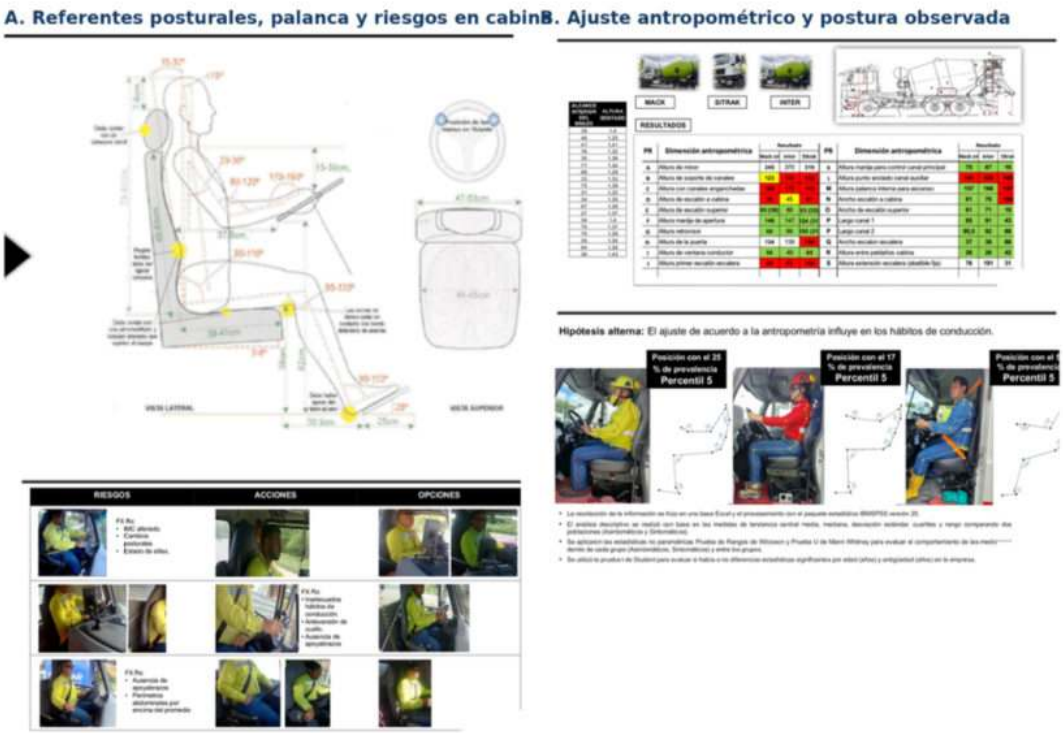


Figura 3. Evidencia gráfica del componente ergonómico: referentes posturales, cabina, antropometría y posturas de prevalencia observada. Las láminas se derivan del resumen consolidado del proyecto y muestran que el ajuste antropométrico, la ausencia de apoyabrazos y los hábitos de conducción fueron parte central de la explicación del riesgo.

Tabla 3. Resultados de hipótesis del piloto centro (12 conductores; 7 asintomáticos y 5 sintomáticos)

Componente	Asint. vacío	Asint. cargado	p intra	Sint. vacío	Sint. cargado	p intra	p entre grupos
Vía / carga (ponderado)	0.60843	0.59914	.050	0.69880	0.69400	.034	—
Comportamiento	3.43	4.57	.011	1.60	2.40	.046	Vacío .0156 | Cargado .0089
Biomecánica	7.00	10.14	.039	6.00	8.40	.0157†	Vacío .4898 | Cargado .4952
Descriptivas (edad/antigüedad)	46.14 / 9.71	—	Edad .907 | Antig. .304	45.40 / 7.60	—	—	Edad .8960 | Antig. .3284

Nota. La hipótesis de vía/carga mostró significancia marginal en asintomáticos y alta en sintomáticos. El valor p = .0157 del componente biomecánico sintomático fue rotulado de manera inconsistente en la matriz original; por prudencia, se conserva la cifra y se discute como señal de tendencia más que como confirmación independiente.

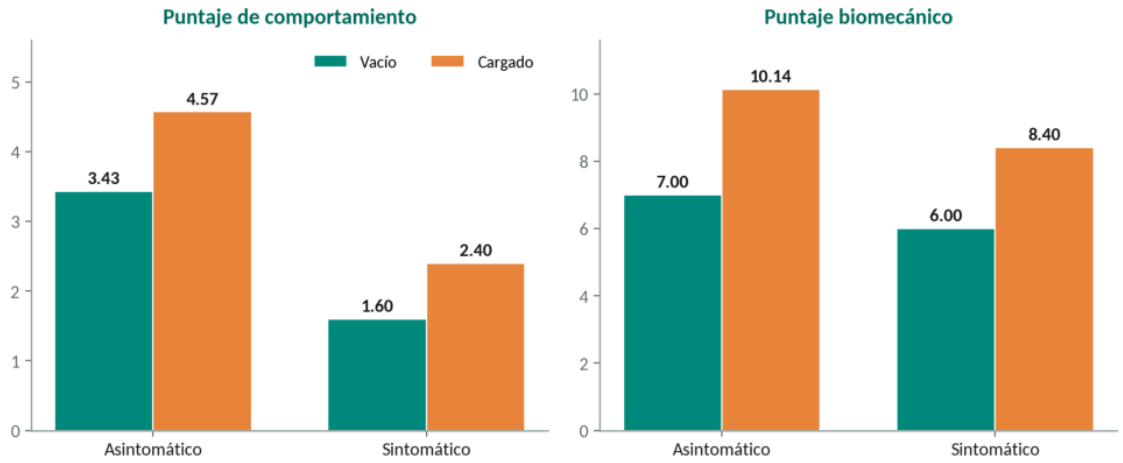


Figura 4. Puntajes ergonómicos del piloto centro por grupo de salud y condición de carga. El componente comportamiento diferenció con mayor claridad al personal asintomático del sintomático. (Figura regenerada a partir de los valores de la Tabla 3.)

Resultados e indicadores de impacto: vibración continua (AV) e impacto (VDV)

En el monitoreo higiénico 2024–2025 se realizaron 54 mediciones: 36 en recorridos regulares cargado/vacío y 18 en ruta irregular. Del total, 12 mediciones (22.22%) se clasificaron en nivel alto, 22 (40.74%) en nivel medio y 20 (37.03%) en nivel bajo para AV. El riesgo medio constituyó, por tanto, la categoría individual más frecuente, situada en la franja amarilla, es decir, por encima del nivel de acción y por debajo del límite permisible. Desde la higiene ocupacional esa condición demanda control y seguimiento, y desde la salud ocupacional representa una ventana crítica de prevención temprana más que una condición de complacencia (ACGIH, 2025; ISO, 1997).

Leída en conjunto, esa distribución arroja el resultado descriptivo de mayor alcance del componente higiénico: en las condiciones operativas evaluadas, la conducción de vehículos mezcladores se caracterizó predominantemente por exposiciones de riesgo bajo y medio para vibración de cuerpo entero (42 de 54 mediciones; 77.77%; IC 95% Wilson 65.1%–86.8%), frente a un 22.22% en riesgo alto (IC 95% 13.2%–34.9%). Esto sugiere que la actividad no constituye intrínsecamente una tarea de alto riesgo biomecánico; sin embargo, determinados factores operativos, ergonómicos e individuales pueden incrementar de manera relevante la exposición. Ese matiz es indispensable: el 62.96% de las mediciones (IC 95% 49.6%–74.6%) se situó en o por encima del nivel de acción, de modo que el predominio de las categorías baja y media describe una actividad no intrínsecamente roja, pero en modo alguno una condición exenta de control. La cifra corresponde, además, a mediciones de GES y no a sujetos ni a exposición ponderada por tiempo, por lo que caracteriza las condiciones evaluadas y no una prevalencia poblacional.

La Plataforma B presentó la central de AV más alta (1.17 m/s²) y, por tanto, un grado alto a nivel de GES para 6 horas. Esa clasificación grupal no equivale a 12 sujetos o equipos en rojo: en las mediciones puntuales de recorridos regulares se observaron 3 eventos AV altos concentrados en 2 equipos/conductores con al menos una medición roja, mientras las Plataformas A y C no registraron eventos AV altos puntuales. La Plataforma B también fue la única con riesgo medio en VDV (9.13 m/s^1.75). La Plataforma C mostró la central más baja

(0.652 m/s²) y la menor dispersión, en coherencia con las mejores condiciones de confort de cabina y con el uso de asiento neumático autoajustable observadas en campo. La ruta irregular registró una central de AV de 1.48 m/s², valor que bajo el criterio específico de exposición de 0.5 horas se clasifica como bajo, pero que superaría la referencia de recorridos regulares si se interpretara con el mismo TLV de 6 horas; por ello, debe entenderse como un acelerador puntual de alta agresión mecánica y no como una condición inocua.

Tabla 4. Resumen estadístico higiénico por plataforma y condición analítica (clasificación GES)

Condición analítica	n med.	Central AV	IRm AV (%)	Grado AV GES	Central VDV	IRm VDV (%)	Lectura preventiva y rojos
Plataforma A	12	0.892	89.2	Medio	5.82	34.24	0 AV altas; GES medio cercano al TLV
Plataforma B	12	1.17	117.0	Alto	9.13	53.71	3 AV altas; 2 eq./cond. con ≥1 rojo
Plataforma C	12	0.652	65.2	Medio	4.87	28.65	0 AV altas; GES medio más estable
Ruta irregular	18	1.48	42.72*	Bajo*	5.59	32.88	9 AV altas; no equivalen a 9 sujetos

Nota. n = mediciones del GES, no sujetos. En recorridos regulares, la Plataforma B concentró 3 AV altas en 2 equipos/conductores; las Plataformas A y C no presentaron AV altas. *Ruta irregular = “baja” solo por el criterio de 0.5 h.

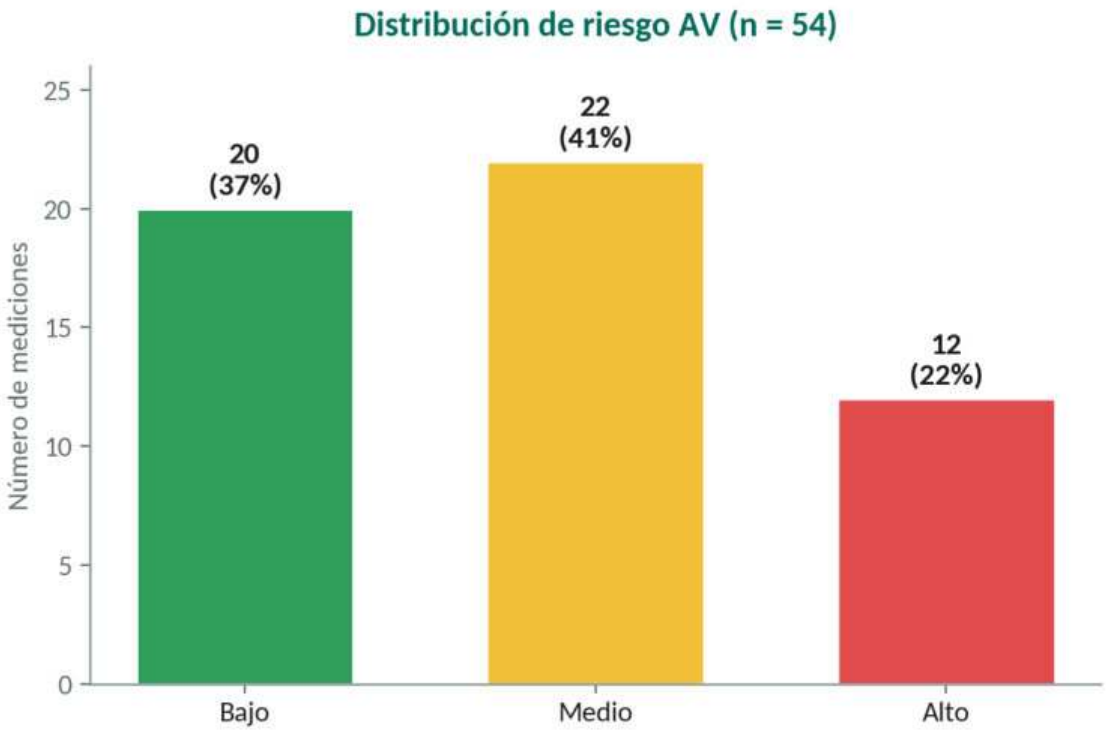


Figura 5. Distribución del riesgo de vibración continua (AV) en el total de mediciones (n = 54). (Figura regenerada a partir de los valores de la Tabla 4.)

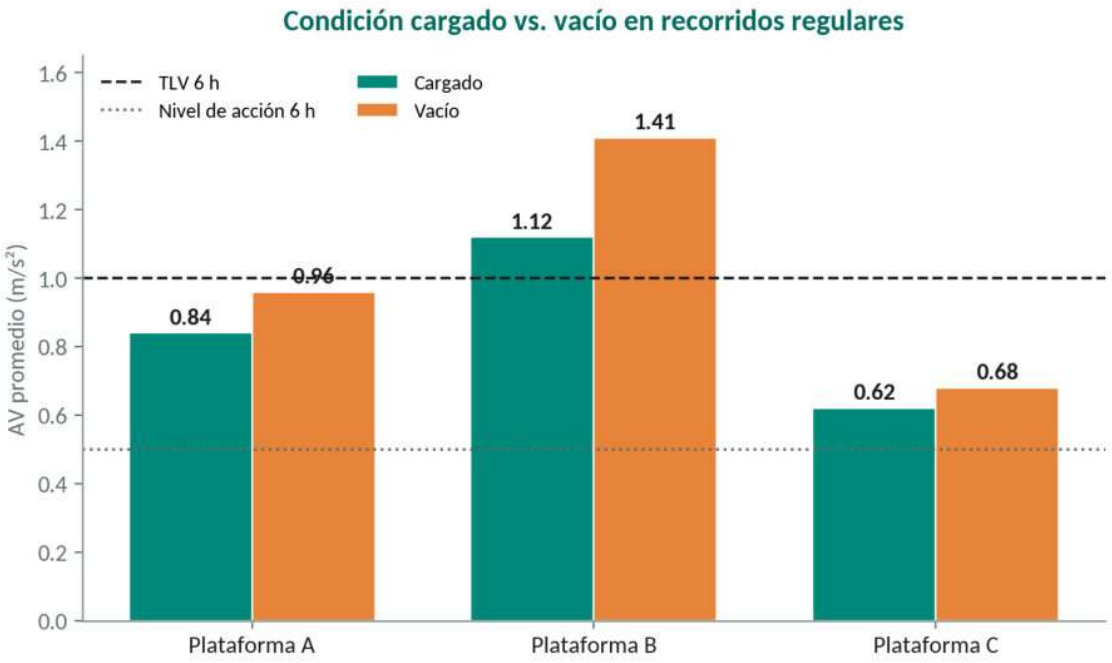


Figura 6. Comparación cargado vs. vacío por plataforma en recorridos regulares. (Figura regenerada a partir de los valores por plataforma; líneas de referencia TLV 6 h y nivel de acción 6 h.)

Tabla 5. Contrastes integrados prioritarios para la discusión preventiva

Contraste	Métrica 1	Métrica 2	Prueba paramétrica	Prueba no paramétrica	Interpretación
Regular cargado vs. vacío (n = 18 pares)	AV cargado = 0.862	AV vacío = 1.019	t pareada p = .0023	Wilcoxon p = .0004	El vacío se asocia con mayor exposición continua
Ruta regular vs. irregular	AV regular = 0.940	AV irregular = 1.742	t de Student p = .0009	Mann–Whitney p < .001	La ruta irregular se asocia con mayor carga vibratoria
Sano vs. sintomático (base clínica)	Antigüedad sana = 9.68 años	Antigüedad sintomática = 4.50 años	t de Student p = .0407	Mann–Whitney p = .1931	La experiencia parece modular la adaptación
Obesidad por grupo de salud	11.3% en sanos (7/62)	33.3% en sintomáticos (2/6)	—	Fisher p = .1767; OR = 3.93 (IC 95% 0.29–33.04)	Tendencia clínica exploratoria; el IC del OR incluye la unidad (no confirmatorio)

Tabla 5. Contrastes estadísticos y clínicos seleccionados para la discusión integradora.

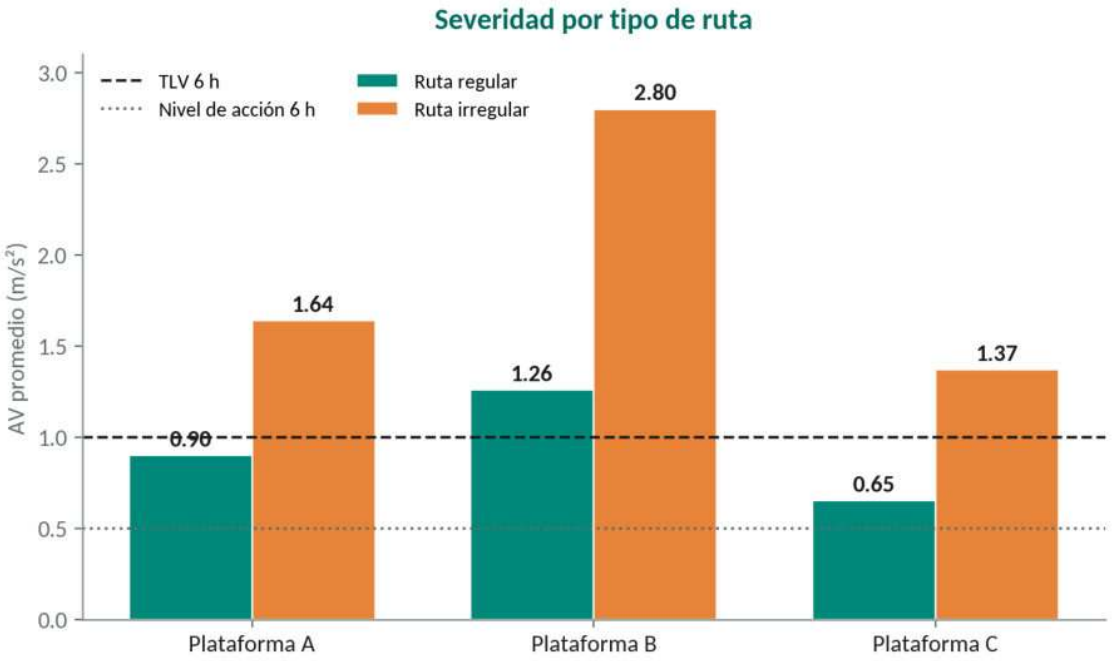


Figura 7. Comparación entre ruta regular e irregular por plataforma. (Figura regenerada a partir de los valores por plataforma; líneas de referencia TLV 6 h y nivel de acción 6 h.)

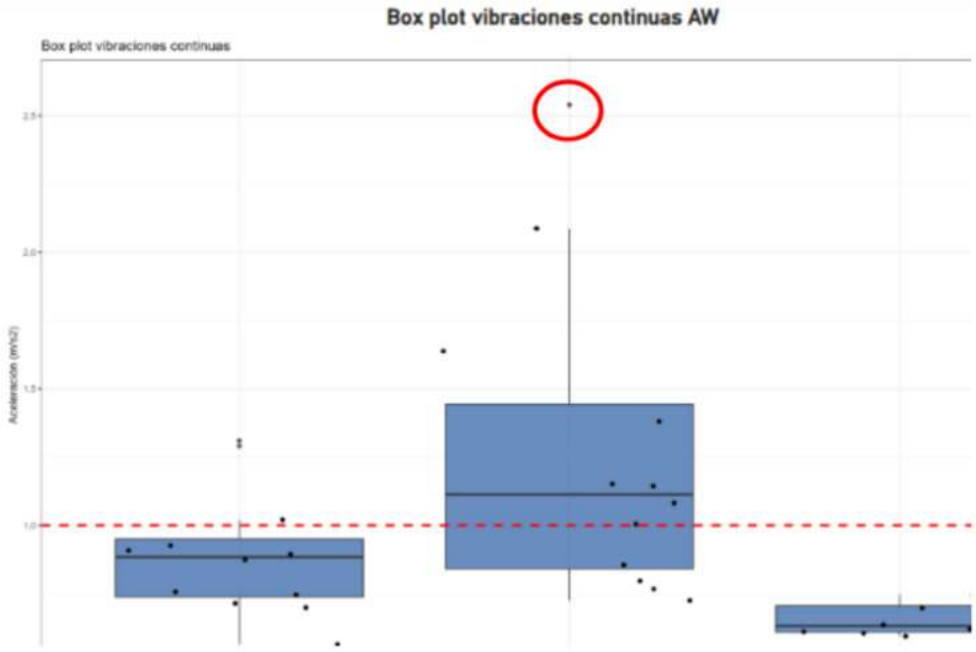


Figura 8. Box plot de vibración continua (AV) por plataforma vehicular. El patrón muestra mayor dispersión y extremos en la Plataforma B, estabilidad relativa en la Plataforma C y proximidad de la Plataforma A al TLV.

Silla, mantenimiento y oportunidades de atenuación del riesgo medio

La evidencia fotográfica y las matrices ergonómicas mostraron que la silla no es un accesorio secundario, sino la barrera de control primaria entre vibración, postura y carga transmitida, y permitieron identificar oportunidades concretas de mejora. En zona centro se observaron espuma con desgaste, bombona con oportunidad de uso por parte del conductor y amortiguadores sin posibilidad de graduar el nivel de rebote. En zona norte se registraron espaldar comprometido, espuma hundida o deteriorada, vinilos con daño, ausencia de apoyabrazos y apoyacabezas sin ajuste independiente. De manera igualmente relevante, se documentaron prácticas de mantenimiento de valor que conviene replicar: espuma certificada, tapizado completo, estructura metálica estable y potencial de pilotaje del sistema de disminución de rebote.

Este punto es especialmente valioso para la discusión sectorial: aunque el riesgo medio fue la categoría individual más frecuente de AV, esa condición por encima del nivel de acción puede favorecer la sintomatología lumbar cuando coincide con una silla con desgaste, un ajuste antropométrico mejorable, conducción en vacío y personal ya sintomático; y es justamente ahí donde la prevención tiene su mayor margen de acción. En otras palabras, el amarillo no es un estado neutro: es, sobre todo, una señal temprana y una oportunidad para acompañar al trabajador e intervenir antes de que la exposición progrese clínicamente.



Figura 9. Evidencia visual del componente silla: componentes críticos en zona centro, gestión de fallas en zona norte y práctica de mantenimiento a compartir. La mejora de espuma, bombona, amortiguador, apoyabrazos y apoyacabezas se plantea como estrategia concreta para atenuar los amarillos y prevenir sintomatología temprana.

Discusión integrada

La primera conclusión transversal del estudio es que la exposición a VCE no puede comprenderse como una variable exclusivamente física. La revisión bibliográfica y el cruce entre documentos del proyecto muestran que la misma magnitud de vibración puede generar respuestas distintas según antropometría, ajustes del asiento, comportamientos compensatorios y experiencia de conducción. Este planteamiento es coherente con los estudios de Okunribido et al. (2006, 2008), que evidenciaron el papel concurrente de postura, manejo manual y VCE en el dolor lumbar, así como con la revisión de Tinitali et al. (2021), que cuestiona cualquier explicación monocausal basada solo en postura o solo en vibración.

Las diferencias entre personal sano y sintomático deben interpretarse en ese marco. El piloto interno mostró mejores hábitos de conducción en el personal antiguo y sano, y mayor predisposición a síntomas en el personal sintomático, asociada a posibles hábitos posturales y compensatorios. No obstante, esta relación no debe leerse en un solo sentido. Así como un hábito deficiente puede amplificar el daño, un mejor hábito puede protegerlo: el comportamiento es un factor modificable que, incluso en presencia de patología de base, puede reducir la carga efectiva transmitida. Esta bidireccionalidad es central para la prevención, porque convierte al personal sintomático no en un grupo de riesgo fijo, sino en un objetivo preferente de entrenamiento conductual. La base clínica 2023 complementó ese hallazgo al mostrar mayor antigüedad laboral en el grupo sano que en el sintomático. Al mismo tiempo, la mayor frecuencia de obesidad en el grupo sintomático (33.3%, 2 de 6, frente a

11.3%, 7 de 62, en el grupo sano; OR = 3.93) sugiere una tendencia clínicamente compatible con mayor vulnerabilidad biomecánica, en línea con el análisis de riesgo diferencial descrito en revisiones recientes (Pickard et al., 2022; Chen et al., 2024). No obstante, la diferencia no alcanzó significancia estadística (prueba exacta de Fisher, p = .1767) y el intervalo de confianza del OR es muy amplio e incluye la unidad (IC 95% exacto 0.29–33.04), de modo que el resultado es compatible tanto con la ausencia de efecto como con un efecto considerable. Se trata, por tanto, de un hallazgo exploratorio y generador de hipótesis, no de la comprobación de una asociación.

El interés de esa señal radica en que existen mecanismos biomecánicos plausibles que explicarían por qué un conductor con mayor peso podría experimentar una exposición efectiva superior. Estos mecanismos se presentan aquí como hipótesis fisiopatológicas respaldadas por la literatura y no como resultados propios del estudio. Primero, una mayor masa corporal comprime en mayor grado la espuma del cojín, reduce su capacidad de amortiguación e incrementa la transmisión de vibración hacia la pelvis y la columna lumbar. Segundo, los asientos con suspensión neumática operan dentro de rangos de carga definidos: cuando el ajuste no corresponde a la masa real del operador, la frecuencia natural del conjunto asiento–ocupante se desplaza y el sistema pierde capacidad de aislamiento, pudiendo incluso amplificar el movimiento en el rango de frecuencias más lesivo para el raquis (Blood et al., 2010, 2015; Du et al., 2018; Kim et al., 2018).

Tercero, la vibración actúa sobre una columna que ya soporta una carga axial superior, de modo que el efecto combinado podría aumentar la presión intradiscal, la fatiga muscular y el microtrauma repetitivo. Cuarto, una menor movilidad pélvica y una menor variabilidad postural, frecuentes en trabajadores con obesidad, prolongarían la sedestación fija y elevarían la exposición acumulada; este último mecanismo es el de sustento empírico más indirecto y se enuncia con la mayor cautela. Conviene precisar que los dos primeros mecanismos dependen de la masa corporal total, que gobierna la mecánica del sistema asiento–ocupante, mientras que los dos últimos se relacionan más estrechamente con la adiposidad y la movilidad; distinguir

ambas variables evita atribuir al índice de masa corporal efectos que corresponden propiamente a la masa.

La relevancia de la condición cargado/vacío fue uno de los hallazgos más sólidos. En el vehículo vacío, la reducción de masa limita la capacidad de amortiguación del conjunto y hace que la cabina responda con mayor brusquedad a baches, ondulaciones y pendientes. El presente estudio mostró que ese incremento no es trivial, sino estadísticamente significativo para el conjunto de recorridos regulares. La ruta irregular se asoció también con un aceleramiento del riesgo: aunque esos trayectos fueron breves, representaron una fracción desproporcionada de la agresión mecánica, en concordancia con lo reportado para maquinaria pesada y minería (Kumar et al., 2022; de la Hoz-Torres et al., 2022).

El asiento emergió como modulador central del fenómeno. Los pantallazos y observaciones de campo mostraron diferencias claras entre mecanismos convencionales y asientos neumáticos autoajustables. La literatura respalda esta interpretación: los estudios de Blood et al. (2010, 2015), Du et al. (2018), Kim et al. (2018) y Dennerlein et al. (2022) evidencian que la suspensión del asiento y su ajuste correcto reducen la transmisión vibratoria y mejoran el confort y la discapacidad reportada. En el presente estudio, la Plataforma C, dotada de una solución autoajustable, mostró la menor AV y la menor dispersión.

Conviene no leer la elevada frecuencia de exposiciones medias como una señal de tranquilidad, sino como el terreno más fértil para la prevención. Técnicamente, permanecer de forma sostenida por encima del nivel de acción implica una exposición con potencial de deterioro que aún no ha llegado al umbral de riesgo probable, pero que ya invita a intervenir (ACGIH, 2025;

ISO, 1997). Desde una perspectiva clínica, esa franja amarilla es precisamente donde la gestión preventiva puede cuidar la salud del trabajador de manera temprana. Por eso, el presente estudio adopta una posición deliberadamente preventiva y constructiva: la prioridad inmediata es eliminar los eventos rojos, y la mayor oportunidad estratégica de salud ocupacional está en reducir los amarillos antes de que avancen hacia lumbalgia consolidada, ausentismo o incapacidad.

El aporte principal del enfoque es metodológico y operativo. La higiene ocupacional cuantificó magnitudes y comparó el cumplimiento frente a TLV y niveles de acción; la ergonomía y la salud explicaron por qué, bajo exposiciones aparentemente similares, algunos conductores se mantuvieron funcionales y otros desarrollaron síntomas. En términos aplicados, la VCE explica la carga, la ergonomía explica la transmisión mecánica y el comportamiento explica la adaptación o amplificación del daño. Precisamente por eso, la cohesión de ambos abordajes no es un recurso retórico: la medición higiénica por sí sola clasifica el nivel de exposición, pero es su integración con la ergonomía y la clínica la que vuelve esa clasificación más exacta —al explicar la variabilidad que el instrumento no captura— y de mayor impacto preventivo —al señalar dónde y en quién intervenir antes del daño. Esta lectura integrada coincide con el llamado de Lu (2020) a prevenir el dolor musculoesquelético en conductores profesionales mediante estrategias multicomponente y no unidimensionales.

Alcance, limitaciones y agenda de investigación

El alcance de estos resultados debe delimitarse con precisión. La evidencia proviene de una muestra no probabilística —54 mediciones de GES y alrededor de 50 trabajadores— sobre una población expuesta estimada de unos 900 conductores. Aunque las fracciones de muestreo inferiores al 10% autorizan el uso de intervalos de confianza sin corrección por población finita, ningún intervalo corrige el sesgo de selección: las proporciones descritas caracterizan las

condiciones y los GES evaluados, y no habilitan por sí solas una inferencia poblacional directa. Por la misma razón, la afirmación de que la conducción de mezcladores no constituye intrínsecamente una tarea de alto riesgo debe entenderse referida a las condiciones operativas efectivamente medidas.

La limitación es particularmente marcada en el análisis del peso corporal. El odds ratio de 3.93 descansa sobre dos trabajadores obesos dentro de un grupo sintomático de seis, un recuento insuficiente para sostener una conclusión: el estudio está subpotenciado para esa variable y detectar un efecto de esa magnitud con potencia del 80% exigiría del orden de treinta trabajadores sintomáticos. La ausencia de significancia estadística no debe interpretarse, en consecuencia, como evidencia de ausencia de efecto, sino como una limitación de potencia. Cabe subrayar, además, que la obesidad no formó parte de las cuatro hipótesis rectoras del estudio y constituye una variable clínica secundaria de carácter exploratorio.

Estas limitaciones definen la agenda de la siguiente fase. Puesto que la población expuesta está acotada, una muestra representativa y dimensionada de esos conductores permitiría transitar desde la caracterización descriptiva actual hacia una estimación poblacional formal, tanto del perfil de exposición como del papel del peso corporal como modificador. Alternativamente, la ponderación de las mediciones por la distribución real de condiciones operativas —proporción de trayectos vacíos y de ruta irregular en la operación efectiva— permitiría aproximar una exposición poblacional ponderada por tiempo.

Desarrollo de la estrategia / intervención: implicaciones de control para la gestión preventiva

El estudio permite proponer una jerarquía de control explícita para el sector: (1) mantenimiento preventivo y correctivo de espuma, bombona neumática, amortiguador, apoyabrazos y apoyacabezas; (2) ajuste antropométrico cabina–conductor y entrenamiento específico para el uso de la silla según condición cargado/vacío; (3) control de velocidad y de rebotes en tramos irregulares; (4) mejora de hábitos de conducción, particularmente en personal sintomático; (5) seguimiento diferencial del personal con mayor vulnerabilidad clínica; y (6) consideración del peso corporal y del índice de masa corporal como variables de interés en la evaluación ergonómica individual, particularmente para el ajuste antropométrico del asiento, la calibración de los sistemas neumáticos de suspensión y la identificación de trabajadores potencialmente más vulnerables a la vibración de cuerpo entero.

En términos de gestión, una buena manera de atenuar los amarillos es intervenir cuatro palancas concretas: mantenimiento de sillas, hábitos de conducción, revisión de controles de velocidad y comportamiento del personal sintomático. Por tratarse de un factor modificable, el trabajo sobre el hábito es especialmente valioso: permite que incluso el personal con patología de base reduzca su exposición efectiva y, así, actúa como medida protectora y no solo correctiva. La experiencia del proyecto sugiere que estas medidas son más costo-efectivas y sostenibles cuando se formulan como una oportunidad de fortalecer la prevención antes de que aparezca el daño, y no como un ejercicio de verificación de cumplimiento.

4. Conclusiones

• El valor central del estudio es preventivo y metodológico: la cohesión de la higiene ocupacional con la ergonomía y la salud produce una lectura del riesgo más exacta — porque explica por qué exposiciones similares generan respuestas distintas— y de mayor impacto —porque indica dónde intervenir antes de que el daño se consolide.

• La ampliación de zona norte cambió el alcance interpretativo del estudio: la evidencia ya no proviene solo de 12 trabajadores de un piloto, sino de una estrategia observacional multicentro de 50–51 registros con 12 en centro y 39 en norte. • En las condiciones operativas evaluadas, la conducción de vehículos mezcladores se caracterizó predominantemente por exposiciones de riesgo bajo y medio para vibración de cuerpo entero (77.77% de las mediciones; IC 95% 65.1%–86.8%). La conducción de un mixer, por sí sola, no representa una exposición predominantemente de alto riesgo: el incremento del riesgo depende de factores modificadores operativos, ergonómicos e individuales, como la conducción en vacío, las rutas irregulares y el deterioro del asiento. • El riesgo medio fue la categoría individual más frecuente de vibración continua (40.74% de las mediciones) y el 62.96% se situó en o por encima del nivel de acción. Más que un motivo de alarma, esa franja representa una oportunidad: un espacio donde todavía es posible intervenir con buenos resultados antes de que el daño musculoesquelético se consolide. • Los eventos rojos deben corregirse con prioridad, pero la estrategia de salud ocupacional más costo-efectiva es reducir los amarillos mediante mantenimiento de sillas, ajuste antropométrico, control de velocidad, entrenamiento y seguimiento clínico diferencial. • La condición vacía y la ruta irregular son dos aceleradores consistentes de la carga vibratoria y, por tanto, deben ser incorporados explícitamente en la matriz de control, en la formación y en la asignación operativa. • La silla es una barrera de control primaria: espuma, bombona, amortiguador, apoyabrazos y capacidad real de ajuste antropométrico explican buena parte de la diferencia entre exposición medida y daño percibido. • Los hábitos de conducción y el comportamiento del personal sintomático influyen de forma relevante en la expresión del riesgo. En este estudio, el componente comportamiento fue la hipótesis más consistentemente diferenciadora entre personal sano y sintomático. Por ser un factor modificable, el comportamiento es también una palanca protectora: el personal con patología de base puede atenuar su vulnerabilidad cuando adopta

mejores hábitos, lo que lo convierte en objetivo preferente de entrenamiento más que en un grupo de riesgo inamovible. • El propósito de una lectura integrada no es calificar el proceso, sino identificar con mayor precisión dónde están las oportunidades concretas de prevenir la enfermedad temprana. Ese es el valor de reunir higiene ocupacional, salud y ergonomía en un mismo modelo de análisis y control: dos abordajes que, cohesionados, resultan más exactos y de mayor impacto que cualquiera por separado. • Entre las características individuales, el mayor peso corporal mostró una tendencia compatible con mayor vulnerabilidad clínica (obesidad en 33.3% de los sintomáticos frente a 11.3% de los sanos; OR = 3.93), sin alcanzar significancia estadística (p = .1767; IC 95% del OR 0.29–33.04). El hallazgo es exploratorio y no comprueba una asociación, pero resulta biomecánicamente plausible y justifica investigarlo con mayor tamaño muestral. • En consecuencia, se recomienda considerar el peso corporal y el índice de masa corporal como variables de interés en la evaluación ergonómica individual, particularmente para el ajuste antropométrico del asiento, la calibración de los sistemas neumáticos de suspensión y la identificación de trabajadores potencialmente más vulnerables a la vibración de cuerpo entero.

Bibliografía

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2025). TLVs and BEIs: Based on

the documentation of the Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents & Biological Exposure Indices. ACGIH.

Barrero, L. H., Cifuentes, M., Rodríguez, C. A., Rey-Becerra, E., et al. (2019). Whole-body vibration

and back pain-related work absence among heavy equipment vehicle operators. Occupational and Environmental Medicine, 76(8), 554–559. https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105914

Blood, R. P., Camp, J. E., Ching, R. P., & Yost, M. G. (2015). Whole-body vibration exposure

intervention among professional bus and truck drivers: A laboratory evaluation of seat- suspension designs. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 12(6), 351–362. https://doi.org/10.1080/15459624.2014.989357

Blood, R. P., Ploger, J. D., Yost, M. G., Ching, R. P., & Johnson, P. W. (2010). Whole body vibration

exposures in metropolitan bus drivers: A comparison of three seats. Journal of Sound and Vibration, 329(1), 109–120. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2009.08.030

Bovenzi, M. (2010). A longitudinal study of low back pain and daily vibration exposure in

professional drivers. Industrial Health, 48(5), 584–595. https://doi.org/10.2486/indhealth.MSWBVI-02

Burström, L., Nilsson, T., & Wahlström, J. (2015). Whole-body vibration and the risk of low back

pain and sciatica: A systematic review and meta-analysis. International Archives of Occupational and Environmental Health, 88, 403–418. https://doi.org/10.1007/s00420- 014-0971-4

Chen, C., Xiao, B., He, X., Wu, J., Li, W., & Yan, M. (2024). Prevalence of low back pain in

professional drivers: A meta-analysis. Public Health, 231, 23–30. https://doi.org/10.1016/j.puhe.2024.03.007

De Carvalho, D. E., & Callaghan, J. P. (2012). Influence of automobile seat lumbar support

prominence on spine and pelvic postures: A radiological investigation. Applied Ergonomics, 43(5), 876–882. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2011.12.007

de la Hoz-Torres, M. L., Aguilar, A. J., Ruiz, D. P., & Martínez-Aires, M. D. (2022). Whole body

vibration exposure transmitted to drivers of heavy equipment vehicles: A comparative case according to the short- and long-term exposure assessment methodologies defined in ISO 2631-1 and ISO 2631-5. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(9), 5206.

https://doi.org/10.3390/ijerph19095206

Dennerlein, J. T., Cavallari, J. M., Kim, J. H., & Green, N. H. (2022). The effects of a new seat suspension system on whole body vibration exposure and driver low back pain and disability: Results from a randomized controlled trial in truck drivers. Applied Ergonomics, 98, 103588. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103588

Du, B. B., Bigelow, P. L., Wells, R. P., Davies, H. W., Hall, P., & Johnson, P. W. (2018). The impact of different seats and whole-body vibration exposures on truck driver vigilance and discomfort. Ergonomics, 61(4), 528–537. https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1372638

Equipo técnico del proyecto sectorial. (2024a). Informe consolidado multicentro de conductores mixer [Informe técnico interno no publicado].

Equipo técnico del proyecto sectorial. (2024b). Resultado de ampliación del estudio en zona norte [Informe técnico interno no publicado].

International Organization for Standardization. (1997). ISO 2631-1: Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration—Part 1: General requirements. ISO.

Kim, J. H., Marin, L. S., & Dennerlein, J. T. (2018). Evaluation of commercially available seat suspensions to reduce whole body vibration exposures in mining heavy equipment vehicle operators. Applied Ergonomics, 71, 78–86. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.04.003

Kumar, V., Palei, S. K., Karmakar, N. C., & Chaudhary, D. K. (2022). Whole-body vibration exposure vis-à-vis musculoskeletal health risk of dumper operators compared to a control group in coal mines. Safety and Health at Work, 13(1), 73–77. https://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.10.007

Laboratorio acreditado de higiene ocupacional. (2025). Evaluaciones ocupacionales de riesgo de vibración cuerpo entero por análisis estadístico – grupo de exposición similar [Informe técnico interno].

Lewis, C. A., & Johnson, P. W. (2012). Whole-body vibration exposure in metropolitan bus drivers. Occupational Medicine, 62(7), 519–524. https://doi.org/10.1093/occmed/kqs096

Lu, M.-L. (2020). Prevention of musculoskeletal pain among professional drivers. Journal of Occupational Health, 62(1), e12170. https://doi.org/10.1002/1348-9585.12170

Mendes, H. G. O., de Moraes Tomaz, B., Coelho-Oliveira, A. C., et al. (2021). The consequences of mechanical vibration exposure on the lower back of bus drivers: A systematic review. Applied Sciences, 11(21), 9986. https://doi.org/10.3390/app11219986

Okunribido, O. O., Magnusson, M., & Pope, M. H. (2006). Low back pain in drivers: The relative role of whole-body vibration, posture and manual materials handling. Journal of Sound and Vibration, 298(3), 540–555. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2006.06.007

Okunribido, O. O., Magnusson, M., & Pope, M. H. (2008). The role of whole-body vibration, posture and manual materials handling as risk factors for low back pain in occupational drivers. Ergonomics, 51(3), 308–329. https://doi.org/10.1080/00140130701637262

Okunribido, O. O., Shimbles, S. J., Magnusson, M., & Pope, M. H. (2007). City bus driving and low back pain: A study of the exposures to posture demands, manual materials handling and whole-body vibration. Applied Ergonomics, 38(1), 29–38.

Pickard, O., Burton, P., Yamada, H., Schram, B., Canetti, E. F. D., & Orr, R. (2022). Musculoskeletal

disorders associated with occupational driving: A systematic review spanning 2006–2021. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(11), 6837. https://doi.org/10.3390/ijerph19116837

Thamsuwan, O., Blood, R. P., Ching, R. P., Boyle, L., & Johnson, P. W. (2013). Whole body

vibration exposures in bus drivers: A comparison between a high-floor coach and a low- floor city bus. International Journal of Industrial Ergonomics, 43(1), 9–17. https://doi.org/10.1016/j.ergon.2012.10.003

Tinitali, S., Bowles, K.-A., Keating, J. L., & Haines, T. (2021). Sitting posture during occupational

driving causes low back pain; Evidence-based position or dogma? A systematic review. Human Factors, 63(1), 111–123. https://doi.org/10.1177/0018720819871730

Condiciones de trabajo de los agregados de los predios agropecuarios de una zona rural del departamento del Quindío, Colombia

Rafael H. Villamizar Vargas[1*]; Milena E. Gómez Yepes[2]; and Lázaro V. Cremades[3]

[1]Ingeniero químico, especialista en salud ocupacional y gerencia en control de riesgos, magister en química, docente programa de salud y seguridad en el trabajo, universidad del Quindío, Armenia, Colombia, , orcid. 0000 0001 6959 0086

[2]Profesional en química, profesional en seguridad y salud en el trabajo, especialista en salud ocupacional y gerencia en control de riesgos, doctora en ingeniería industrial, docente programa de salud y seguridad en el trabajo, universidad del Quindío, Armenia, Colombia, , orcid. 0000 0002 6257 8305

[3]Doctor en ciencias químicas e ingeniería química, departamento de ingeniería de proyectos y de la construcción, Universidad Politécnica de Catalunya,08028 Barcelona, España, , orcid. 0000 0003 06008188

*correspondencia: rhvillamizar@uniquindio.edu.co

Abstract

Este estudio analiza las condiciones laborales en el sector agropecuario rural del Quindío, Colombia, donde los trabajadores enfrentan riesgos físicos, químicos, biológicos, biomecánicos y de seguridad. La mayoría labora en la informalidad, con jornadas de hasta 12 horas, sin afiliación al sistema de seguridad social, sin acceso a agua potable y expuestos a agroquímicos, herramientas inadecuadas y posturas forzadas. Mediante un diagnóstico en 10 predios agropecuarios, se identificaron los principales peligros que afectan especialmente a agregados y administradores de finca. La investigación, de tipo descriptivo-observacional, utilizó encuestas, visitas de inspección y herramientas como el ciclo PHVA, la GTC 45 y el modelo obrero para valorar riesgos. Los resultados revelan síntomas de trastornos músculo-esqueléticos (dolor de espalda, cuello y articulaciones) causados por movimientos repetitivos y sobreesfuerzos, además de una alta exposición a químicos, uso inadecuado de plaguicidas, contacto con desechos animales y riesgos de caídas, quemaduras y enfermedades zoonóticas. También se evidenció el consumo de agua de manantiales no tratados. Se priorizaron actividades críticas como el ordeño, la distribución de leche, la siembra de café y banano, y el engorde de ganado, por su alto nivel de riesgo. Se concluye que la informalidad y la falta de medidas preventivas agravan los efectos en la salud y productividad laboral. Se recomienda implementar sistemas de gestión del riesgo, vigilancia epidemiológica, mejoras ergonómicas y garantizar condiciones básicas como el acceso a agua potable. Finalmente, se propone orientar el desarrollo agropecuario hacia modelos más sostenibles y saludables.

Abstract en inglés

This study analyzes working conditions in the rural agricultural sector of Quindío, Colombia, where workers face physical, chemical, biological, biomechanical, and safety risks. Most work informally, with shifts of up to 12 hours, no social security affiliation, no access to drinking water, and exposure to agrochemicals, inadequate tools, and awkward postures. Through a diagnostic study of 10 agricultural properties, the main hazards were identified, particularly affecting farm managers and field workers. The descriptive-observational research utilized surveys, inspection visits, and tools such as the PHVA cycle, the GTC 45, and the worker model to assess risks. The results reveal symptoms of musculoskeletal disorders (back, neck, and joint pain) caused by repetitive movements and overexertion, in addition to high exposure to chemicals, improper use of pesticides, contact with animal waste, and risks of falls, burns, and zoonotic diseases. The consumption of water from untreated springs was also evident. Critical activities such as milking, milk distribution, coffee and banana planting, and cattle fattening were prioritized due to their high level of risk. It is concluded that informality and the lack of preventive measures aggravate the effects on health and labor productivity. It is recommended to implement risk management systems, epidemiological surveillance, ergonomic improvements, and guarantee basic conditions such as access to drinking water. Finally, it is proposed to guide agricultural development toward more sustainable and healthy models.

Palabras Clave

trabajador agrícola, condición de trabajo, peligro, riesgo laboral. Agricultural worker, working condition, hazard, occupational risk.

1. Introducción

En las zonas rurales las condiciones de trabajo son difíciles y peligrosas ya que los empleos son generalmente informales; la taza de accidentalidad del sector agrícola es muy alto debido a las condiciones laborales a las que están expuestos los trabajadores permanentemente, el peligro está asociado a la exigencia física, la utilización de herramientas poco ergonómicas y la exposición a diversos peligros (FREMAP, 2014; Fuentes, 2003). Los agricultores y las comunidades rurales de los trópicos también se encuentran en la primera línea de los impactos del cambio climático y adoptan cada vez más estrategias para reducir el impacto del cambio climático en sus medios de vida, salud y bienestar. Estas estrategias pueden centrarse en proteger el rendimiento de los cultivos ante el aumento de las temperaturas y los cambios en los patrones de precipitación, lo que podría incluir la transición a cultivos más resilientes al clima, la modificación de los programas de rotación de cultivos o la modificación de los patrones de actividad diaria (Goldstein et al., 2023; Chaves et al.,2015).

Según nuevas estimaciones de la a OIT (organización internacional del trabajo, 2023), Cerca de tres millones de trabajadores mueren cada año debido a accidentes y enfermedades relacionados con el trabajo, un aumento de más del 5 por ciento en comparación con 2015. La cifra subraya los desafíos persistentes para salvaguardar la salud y la seguridad de los trabajadores en todo el mundo. el sector agrícola emplea alrededor de 1.300 millones de trabajadores en todo el mundo, lo que representa la mitad de la fuerza de trabajo mundial. La agricultura, la construcción, la silvicultura y la pesca y la industria manufacturera son los sectores más peligrosos, con 200.000 lesiones mortales al año, lo que representa el 63% de todas las lesiones profesionales mortales. En concreto, una de cada tres lesiones profesionales mortales en todo el mundo se produce entre los trabajadores agrícolas, según el informe.

Teniendo en cuenta que la mayoría de la población agrícola no cuenta con afiliación a seguridad social (ARL y Pensión), se puede decir que la tasa de accidentalidad y enfermedad

laboral es peor de lo que indican las estadísticas oficiales, cabe decir que estas van ligadas directamente al ausentismo laboral que afectan la productividad y las capacidades del trabajador (OIT,2015).

De acuerdo con el INSST 2021, tener que llevar o mover cargas pesadas es más relevante en ciertas actividades económicas : Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (36,7%), Construcción (31,3%), Comercio y hostelería (27,5%) y Transporte y almacenamiento (27,0%) y según la VI Encuesta Nacional de Condiciones de Trabajo del Instituto Nacional de Salud e Higiene en el Trabajo (2007), el 70,9% de los trabajadores manifiesta que su puesto de trabajo presenta algún riesgo de accidente, siendo la agricultura uno de los sectores con mayor incidencia (el 80%). En concreto, el estudio de accidentes de trabajo que elabora el Ministerio de Trabajo muestra que, en este sector, en el año 2007 se han producido un total de 36283 accidentes de trabajo con baja, de los cuales la mayoría (35644) ha sido de carácter leve, 630 graves y 109 mortales.

Se puede decir que, en la mayoría de investigaciones sobre las condiciones de trabajo en el área agrícola, tienen como punto de referencia que las familias campesinas devengan menos de 1 salario mínimo legal vigente, son de régimen subsidiado (estrato 1 y 2), iniciaron labores agrícolas antes de los 12 años, y en cuanto a la accidentalidad laboral los miembros superiores e inferiores son los más afectados. Al mirar la distribución de las afiliaciones al SGRL (Aristizábal, 2014) por departamento tradicionalmente agrícolas Boyacá, caldas, Risaralda y Quindío comprenden el 14% de las empresas mientras que la costa atlántica solo el 8%, para abril del 2013 ocho subsectores económicos comprenden el 80% de las empresas afiliadas siendo la producción agrícola (siembra, cultivo y/o recolección) la más grande con 9.083 empresas, al mirar la afiliación se encontró que había 299.887 que representan el 4% del total de trabajadores afiliados al sistema, de ellos el 1% corresponden a trabajadores independientes. Para abril del 2013 el SGRL había aceptado 167.788 accidentes de trabajo de los cuales el 4% se presentaron para este sector, analizando el año 2012 para tener una visión más real 609.881 accidentes se presentaron que equivalen a una tasa de 7,5 accidentes laborales por cada 100 trabajadores, 48.957 accidentes (8% del total) convierten el sector de la agricultura en el mayor sector de siniestralidad con una tasa de 15,9 accidentes por cada 100 trabajadores.

El departamento del Quindío no se queda atrás en cuanto empleos agrícolas y agropecuarios se refiere debido a la ubicación geográfica y lo fértiles de sus tierras sabemos que es una zona productora de café con diversidad cultivos, además de contar con ganado lechero y/o de engorde, por tal motivo se realizó un diagnóstico situacional de las condiciones de trabajo de los agregados de algunos predios agropecuarios de la zona rural del departamento del Quindío – Colombia, buscando conocer y priorizar los peligros con el fin de mejorar las condiciones de seguridad y salud, debido a que es de vital importancia para el bienestar de la población agropecuaria.

Cabe mencionar que el presente estudio no es un estudio de puestos de trabajo para los cuales existen técnicas específicas de acuerdo con lo que se desee analizar, es simplemente un diagnóstico de las condiciones de trabajo (Henao, 2017), basado en el modelo obrero que sirve como punto de partida para el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, el resultado final busca ordenar por importancia los peligros según su grado de riesgo y saber qué medidas de aplicación de control a corto, mediano y largo plazo requieren, dándoles a conocer su valor.

La agricultura como forma de vida, patrimonio, identidad cultural y actividad de vital importancia, requiere de los trabajadores agrícolas ya que traen gran beneficio por que contribuye diariamente a la compensación de los alimentos, para los hogares de los diferentes municipios del departamento del Quindío en Colombia. En los últimos años, el uso de los

plaguicidas se ha ido incrementando debido a la aparición constante de plagas en los cultivos del sector, de esta forma se han vuelto resistentes a los agentes químicos en lo cual se hace necesario la utilización de otros productos o de mayores dosis, siendo así cada vez más tóxicos, en algunos casos donde pueden ser letales para el ser humano cuando se ingieren, se inhalan, se toca, el manejo y la preparación es inadecuada o no se tiene el equipo de protección personal adecuado y las medidas de barrera no se tienen en cuenta. (Del Puerto et al., 2014; Gordon & Marrugo, 2018).

En la última década, la región del Eje Cafetero, especialmente el Quindío, ha emergido como un paisaje cultural invaluable, reconocido como Patrimonio Mundial Paisaje Cultural Cafetero por la UNESCO, generando uno de los principales destinos turísticos del país. Sin embargo, este auge turístico ha tenido consecuencias en los ecosistemas debido a la falta de una planificación para una capacidad de carga sostenible. Por otro lado, la vocación cafetera del Quindío ha experimentado cambios significativos, pasando de un modelo de café de sombrío a uno intensivo de café caturra, y reduciendo su extensión de 28.880 Ha a 18.063 Ha en 2023 según las EVAs (Evaluaciones Agropecuarias Municipales). Esta transformación ha llevado a la aparición de monocultivos, el avance de la ganadería y crecientes impactos en el suelo y los ecosistemas. Las nuevas estrategias agrícolas son más intensivas en tierra y agua, pero menos generadoras de empleo. Este panorama plantea la necesidad de reconsiderar la vocación agrosilvopastoril del departamento, teniendo en cuenta la información de la UPRA (Unidad de planificación rural agropecuaria) y enfocándose en los cultivos del futuro en condiciones de cambio climático. (gobierno del Quindío, 2024).

Los factores que contribuyen a una disminución de la producción agrícola incluyen la industrialización, la urbanización, los bajos rendimientos por hectárea, la escasez de agua, la mala gestión de los pesticidas, la falta de conocimientos agrícolas, la dependencia de métodos agrícolas tradicionales y la escasez de mano de obra cualificada (Batool y Nazir, 2023; Aslam et al.,2025).

De acuerdo con lo anterior, El objetivo de este estudio fue realizar un diagnóstico situacional de las condiciones de trabajo de los agregados de los predios agropecuarios de una zona rural del departamento del Quindío - Colombia.

2. Metodología

La investigación fue de tipo descriptivo-observacional, ésta se ejecutó en los predios agropecuarios de una zona rural del departamento del Quindío - Colombia, compuesta por 27 predios, de los cuales se tomó una muestra por conveniencia de 10 predios con explotaciones agrícolas y agropecuarias de acuerdo con la similitud de tareas (Ver Tabla 1).

Tabla1. Listado de predios participantes

PREDIO	CULTIVO	EXPLOTACION
A	Pasto de corte Café	Agropecuario (ganado lechero)
B	Café Plátano	Agrícola
C	Café	Agrícola
D	Café Plátano	Agropecuario (ganado lechero)
E	Café Plátano Banano	Agrícola
F	Café Plátano	Agrícola
G	Café Plátano	Agropecuario (ganado lechero)

PREDIO	CULTIVO	EXPLOTACION
H	Café Plátano	Agrícola
I	Banano	Agrícola
J	Café Plátano Banano	Agropecuario (ganado lechero y de carne)

Se recolecto información de entidades como lo la alcaldía municipal y la gobernación del Quindío. Dentro de los instrumentos de la recolección de información se utilizó el SIG (sistema de información georreferenciado) Quindío. Con base a la información recolectada se procedió a realizar una visita previa a los predios para darles a conocer el proyecto a nivel general. Se agendó una visita a cada predio (10) para cuando las personas dispusieran del tiempo para una explicación detallada del proyecto (beneficios, tiempo de duración, rol.), cabe decir que este estudio se aplicó solo a los agregados (administradores de finca) por lo cual fue 1 persona por predio. Se procedió al diligenciamiento del consentimiento informado y se dio lectura del mismo resolviendo dudas o inquietudes, explicándoles que este resguarda la integridad y la seguridad de los datos de la investigación. Se recolecto de igual manera la información por medio de la aplicación de encuesta sobre condiciones sociodemográficas mediante su diligenciamiento resolviendo así dudas e inquietudes, se les explico que era voluntaria y libre sus respuestas.

Se agendó una nueva visita para la realización de la inspección y se les explico en qué consistía esta, se realizó el recorrido en cada predio en la fecha estipulada y en cada una de las áreas de trabajo de los agregados realizando la inspección, se implementó el ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar) (Mintrabajo, 2015) tal como se aprecia en la Fig.1.

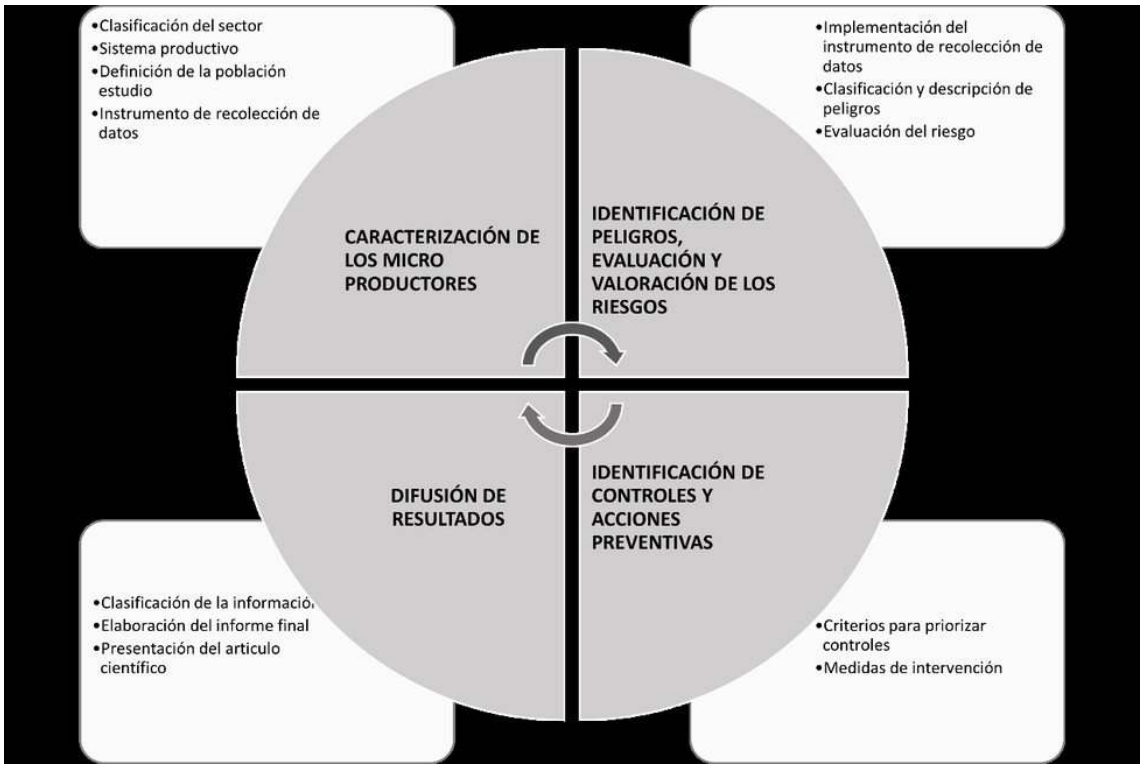


Figura 1. Ciclo PHVA

Se realizó un constante seguimiento en el desarrollo de las actividades para no salirse de los parámetros y conservar el contexto de la investigación. Se utilizaron instrumentos de control como NTC 4114 que fue la guía para realizar el formato de las inspecciones planeadas, el modelo obrero para el análisis de la información recolectada y la GTC 45 para la identificación

de peligros y valoración de los riesgos. Toda esta información se custodio en un solo equipo (computador) con clave los archivos garantizando el resguardo de los mismos.

3. Resultados y discusión de resultados

Se recopilaron datos sobre las condiciones de trabajo y salud de los agregados agropecuarios mediante una encuesta, el tamaño de la muestra fue de 10 personas de los cuales 9 fueron hombres y 1 mujer. Jornada laboral 12 horas diarias.

Condiciones de Salud y trabajo de los agregados

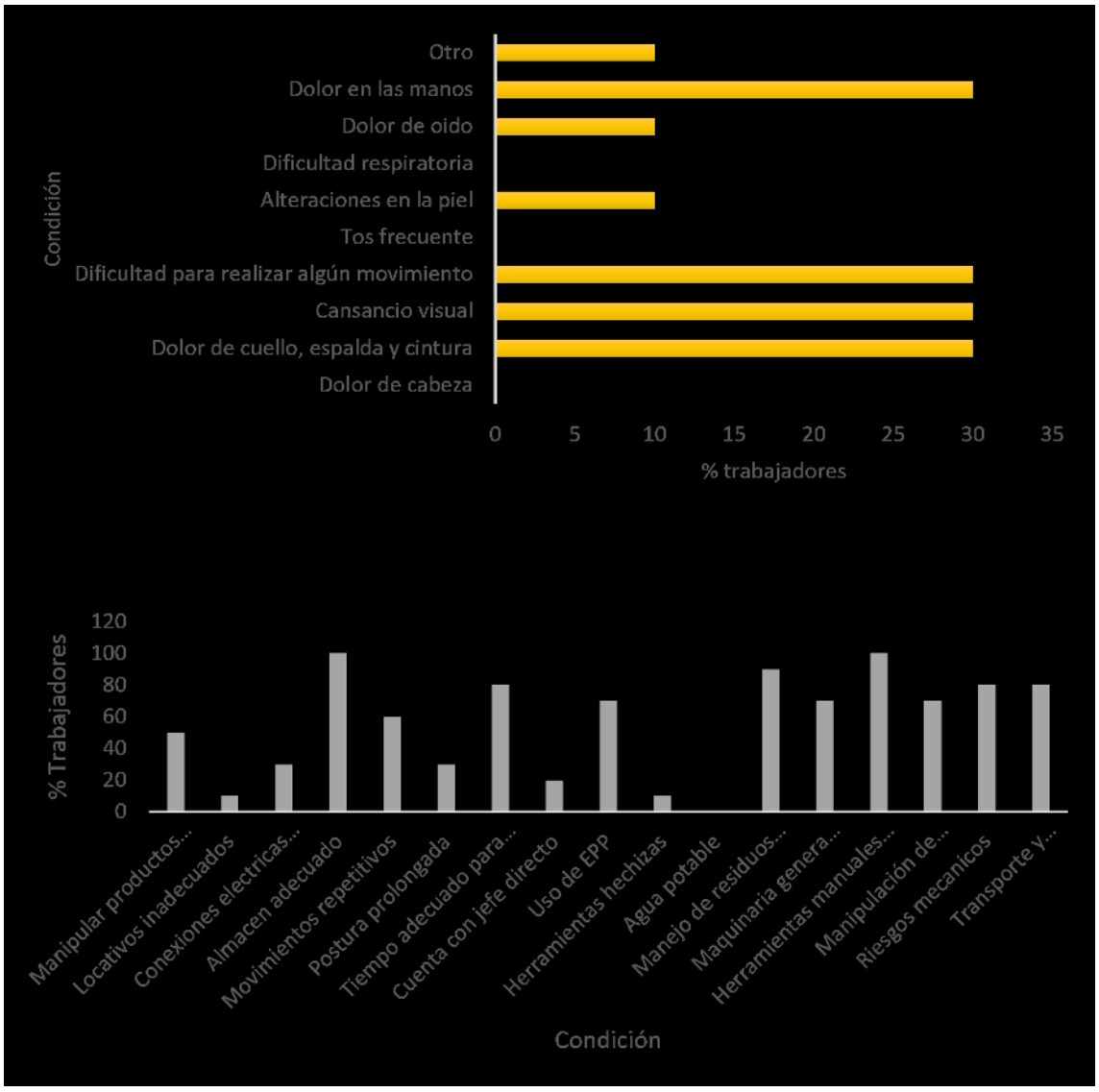


Figura 2. Condiciones de salud y trabajo

Tal como se puede observar en la Fig. 2, El 60% de la población no presenta ninguna sintomatología o molestias de salud 30% ha presentado molestias en cuello, espalda, cintura, cansancio visual, dificultad para la realización de algún movimiento, dolor en las manos y el 10% ha tenido alteraciones de la piel, dolor en los oídos y dolores articulares.

También se puede observar en la fig. 2, el 50% de la población manipula o está en contacto con productos químicos, el 10% consideran que la infraestructura presenta riesgo para su salud, el 30% poseen cables defectuosos y problemas eléctricos, el 100% concuerda que los sitios

destinados para el almacenamiento son suficientes y adecuados, el 60% comenta que realiza movimientos repetitivos en sus labores, el 30% permanecen en una misma posición mucho tiempo, el 80% considera que el tiempo para la realización de sus deberes es el adecuado, al 20% el jefe les piden opiniones sobre su trabajo, el 70% necesita usar elementos de protección personal para la realización de sus tareas, el 10% utiliza herramientas hechizas, el 00% cuenta con agua potable, el 90% tiene una buena disposición de los residuos sólidos, el 70% utiliza maquinas y/o herramientas que producen vibraciones y ruido, el 100% posee herramientas manuales en un estado óptimo, el 70% manipula desechos de origen animal y/o vegetal, el 80% está expuesto a riesgos mecánicos y el 80% levanta y transporta cargas.

Identificación de los riesgos laborales en los predios agrícolas y agropecuarios

Para esto se evidencian las principales actividades pecuarias que se desarrollan en estos predios: Crianza de ganado para engorda y ordeña, aplicación de medicina veterinaria, ordeño de vacunos, tratamiento de desechos pecuarios, preparación y mantenimiento de herramientas y equipos de trabajo y transporte de insumos y ganado.

De acuerdo con el modelo obrero se presentan seis grupos de peligros: Grupo 1: Peligros físicos y condiciones sanitarias; Grupo 2: Peligros químicos; Grupo 3: Peligros Biológicos, Grupo 4: Peligros biomecánicos; Grupo 5: Peligros de la organización del trabajo; Grupo 6: Peligros de Seguridad que causan accidentes de trabajo.

En la fig.3, se observa que entre la población inspeccionada del grupo 1, el 20% está expuesta a altas temperaturas derivadas del silo cuando se hace el proceso de secado del café, seguido por un 60% perteneciente a la ventilación deficientes en los lugares de almacenamiento y de un 100% en cuanto a la humedad por labores agropecuarias, iluminación deficiente en los lugares de almacenamiento, la exposición constante a ruido, vibraciones y radiaciones no ionizantes en la ejecución de sus tareas.

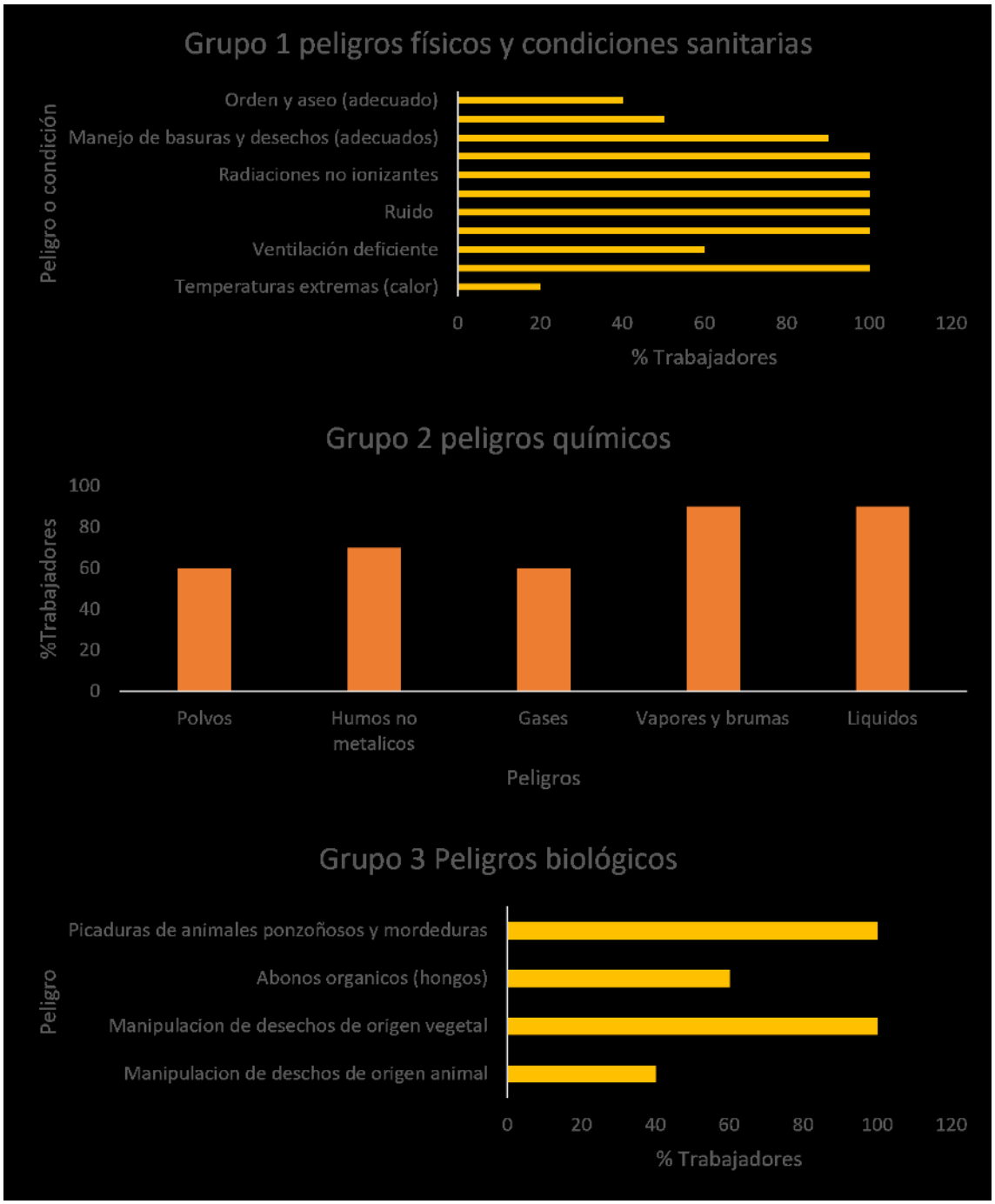


Figura 3. Grupo 1 peligros físicos y condiciones sanitarias; Grupo 2 peligros químicos; Grupo 3 Peligros biológicos

En términos de condiciones sanitarias se encontró que el 40% tienen un buen orden y aseo de los lugares de almacenamiento y corrales, seguido de un 50% de la población que separa los residuos sólidos(reciclaje), en cuanto al manejo de los desechos el 90% tiene una buena disposición y el 100% consume agua no potable (manantial).

Como se puede observar también en la fig. 3, en el grupo 2 el 60% utiliza agroquímicos en polvo para sus labores, y están expuestos a gases, se encontró también que el 70% utiliza la quema del terreno para la siembra y/o quema de materiales plásticos exponiéndose a humos no metálicos y el 90% utiliza productos químicos y veterinarios en estado líquido que dan como resultados vapores o brumas en su uso.

Además, la fig. 3, muestra que dentro del grupo 3 se tiene que el 40% de los agregados manipula desechos de origen animal como lo son excrementos y orina de ganado, seguido del 60% que producen abono orgánico ya sea compostaje o lombricultivo y el 100% manipula desechos de origen vegetal como lo son restos de plantas, frutas y están expuestos a picaduras y mordeduras de animales ponzoñosos.

Tal como se puede ver en la fig. 4, del grupo 4 se puede decir que el 80% tiene una manipulación manual de cargas (dinámica y estática) de igual manera realizan sobreesfuerzos derivados de sus actividades y el 100% de la población presenta movimientos repetitivos y posturas forzadas en la ejecución de sus tareas.

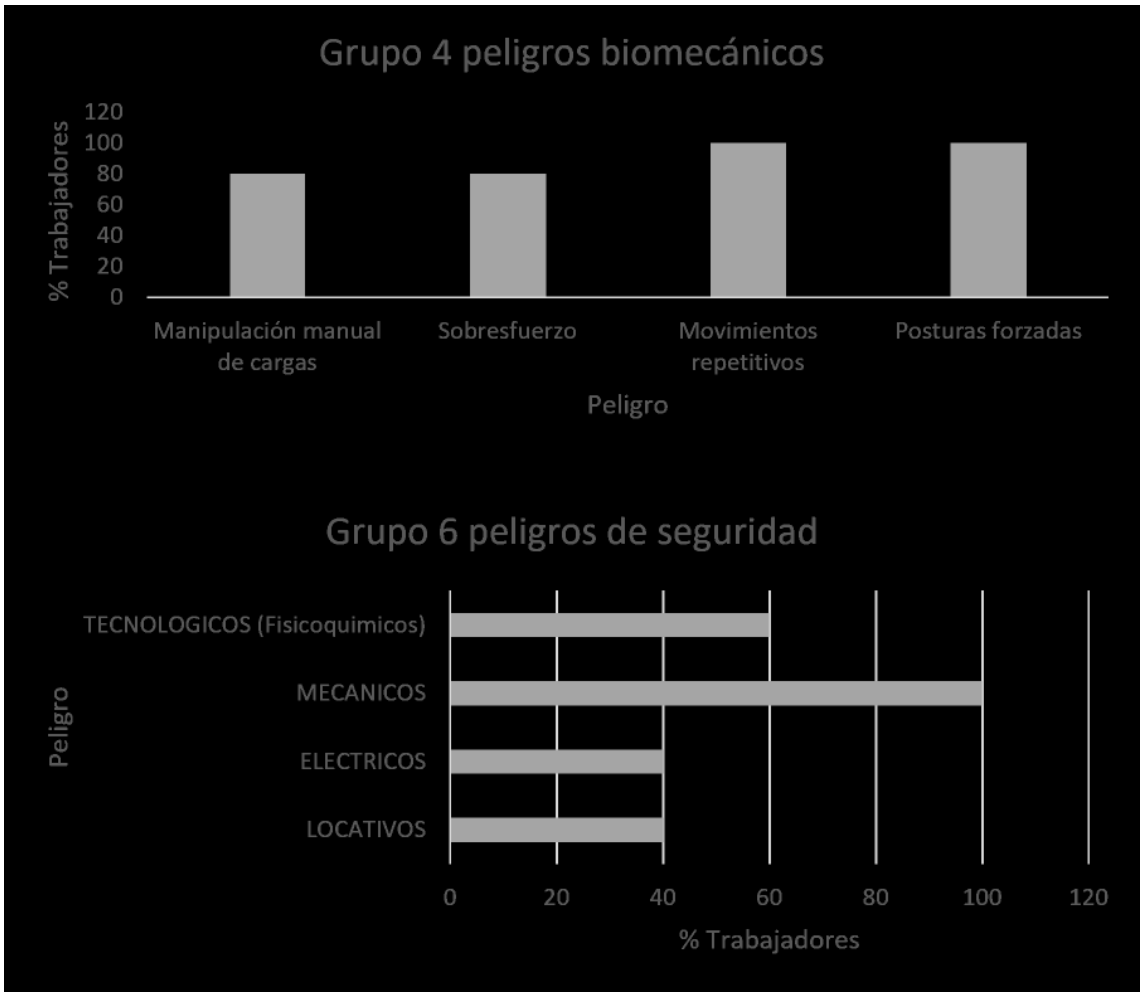


Figura 4. Grupo 4 Peligros biomecánicos y Grupo 6 peligros de seguridad

Para el grupo 5 el 100% de los trabajadores manifiesta extensas jornadas de trabajo, insatisfacción salarial, sobrecarga laboral lo que genera estrés entre la población trabajadora siendo el 80% los dueños de los predios.

Como se puede observar en la fig. 4, finalmente en el grupo 6 se encontró que el 40% presentan peligros locativos en los pisos y escaleras, de igual manera eléctricos en cuanto a las conexiones sin entubar, enchufes en mal estado y reconexiones, el 60% puede presentar incendio y/o explosiones por la manera en que almacenan los productos y el 100% hace uso de máquinas y/o herramientas para la ejecución de sus labores.

Priorización de peligros de los predios agropecuarios

En la tabla 2 se presenta un consolidado de los principales peligros a que están expuestos los trabajadores de los predios agropecuarios

Tabla 2. Priorización de peligros

Proceso	Orden	Peligro	Peligro	Efectos	Valoración del riesgo
Proceso	Orden	Descripción	Clase	Efectos	Valoración del riesgo
Distribución de la leche	1	Bacterias, hongos, parásitos, animales ponzoñosos.	Biológico	Enfermedades por contacto de heces y orina	1080
Distribución de la leche	2	Utilización de agua caliente.	Condiciones de seguridad	Quemaduras	750
Distribución de la leche	4	Sobresfuerzo	Biomecánico	Fatiga muscular en miembros superiores, lumbalgias, dolor.	600
Distribución de la leche	3	Contacto con excremento y orina	Biológico	Enfermedades zoonóticas	720
Engorde de ganado bovino	1	Atrapamientos y cortes en brazos	Condiciones de seguridad (mecánico)	Cortaduras, amputaciones, cizallamiento	1800
Engorde de ganado bovino	2	punción, pinchazo	Biológico	Enfermedades zoonóticas e infecciosas	720
Cultivo de café	6	Uso de herramientas manuales	Condiciones de seguridad (mecánico)	laceraciones, heridas leves, rasguños, hemorragias.	1000
Cultivo de café	1	Movimiento repetitivo (miembros superiores)	Biomecánico	Dolores articulares, tendinitis, calambres, esguince, síndrome del túnel carpiano	2400
Cultivo de café	7	Superficies de trabajo (irregulares, deslizantes)	Condiciones de seguridad (locativo)	Heridas superficiales, contusiones, hematomas, heridas leves.	750
Cultivo de café	2	Polvos orgánicos	Químico	Problemas respiratorios, afectación al sistema nervioso central, irritación en mucosas.	2400
Cultivo de café	5	Manipulación manual de cargas.	Biomecánico	Fatiga física y muscular tenosinovitis, dolores dorsolumbares.	1440
Cultivo de café	3	Liquido (rocíos)	Químico	Intoxicación, inhibición del sistema nervioso central (SNC), mareo, alteración de la marcha y la concentración.	2400
Cultivo de café	4	Posturas forzadas	Biomecánico	Dolores lumbares, fatiga física, traumatismos agudos	1800

Proceso	Orden	Peligro	Peligro	Efectos	Valoración del riesgo
Cultivo de banano	2	Movimientos repetitivos-miembros superiores.	Biomecánico	Dolor, lesiones dorso lumbares, esguinces musculares	2400
Cultivo de banano	3	Manejo inadecuado de herramientas (machete y rastrillo	Condiciones de seguridad (mecánico)	Heridas leves, laceraciones en miembros superiores e inferiores.	1800
Cultivo de banano	1	Superficies de trabajo irregulares.	Condiciones de seguridad (locativo)	Caídas al mismo nivel. Esguinces, heridas leves, contusiones	4000

De acuerdo con los resultados de la identificación de peligros y la valoración del riesgo junto con la priorización presentada en la tabla 2, se presenta una descripción de esta priorización:

Proceso: Distribución de la leche de la vaca

● Limpieza del establo: Se observó que es una tarea rutinaria la cual está expuesta a contacto con bacterias, hongos, parásitos y animales ponzoñosos clasificados en el peligro biológico teniendo como efectos posibles enfermedades por contacto de heces y orina (transmisión holodactila). Cuenta con algunos controles existentes, pero se considera que se deben implementar otras ya que puede tener como peor consecuencia enfermedades como salmonela y hepatitis vírica A. Se requiere realizar intervención inmediata.

● Alimentación de la vaca en la zona de ordeño: Se encontró que este proceso puede causar una mordida del animal clasificado como peligro biológico teniendo como efectos posibles enfermedades zoonótica. No tiene controles para ello pudiendo lograr como peor consecuencia tétanos y rabia paralitica bovina. Se requiere realizar intervención inmediata.

● Esterilización de los utensilios de ordeño: En este proceso la utilización de agua caliente clasificada como una condición de seguridad generando como efectos posibles quemaduras, se observó que no se tiene ningún control existente para esta tarea, lo cual puede causar como peor consecuencia quemaduras de segundo y tercer grado en cualquier parte de la piel. Se requiere realizar intervención inmediata.

● Transporte de leche: En esta tarea se observó varios sobreesfuerzos clasificándose en un peligro biomecánico para la persona que lo realiza causando como efectos posibles fatiga muscular en miembros superiores, lumbalgias y dolor. Dando como peor consecuencia síndrome de maguito rotador y hernias, por lo cual se requiere realizar una intervención inmediata con el fin de evitar futuras lesiones.

Lavado de los utensilios de ordeño después del transporte: En esta tarea se observa nuevamente la utilización de agua caliente clasificándose en una condición de seguridad generando efectos posibles como quemaduras. en donde su peor consecuencia podría ser quemaduras de tercer grado. Se requiere realizar intervención inmediata.

Vacunación contra la aftosa: En esta tarea se observó que puede tener contacto con excremento de vaca, orina o generar un pinchazo, clasificándose como un peligro biológico en donde tendría como efectos posibles enfermedades zoonóticas. Tiene pocos controles existentes los cuales podrían generar como peor consecuencia enfermedades como carbunco, hepatitis A, botulismo.

Proceso: Engorde de ganado bovino

Utilización de pica pasto para proceso de alimentación: Es una tarea rutinaria en donde tiene como peligro atrapamientos y cortes en miembros superiores clasificándose como una condición de seguridad, generando efectos posibles como cortaduras, amputaciones y cizallamiento. Se observó que no cuenta con ningún control existente y podría tener como peor consecuencia una amputación de una extremidad. Se requiere realizar intervención inmediata.

Vacunación contra la brucelosis: Esta tarea puede causar punción o pinchazo clasificándose como un peligro biológico, generando efectos posibles como enfermedades zoonóticas e infecciosas. En donde sus peores consecuencias podrían ser fiebre crónica, afectar los músculos esqueléticos y el sistema nervioso central. Por lo cual se requiere realizar una intervención inmediata.

Proceso: Cultivo del banano

Preparación, establecimiento, siembra y manejo del cultivo: Son tareas rutinarias, en diferentes espacios y tiempo en el desarrollo del cultivo, se evidencian peligros clasificados en biomecánicos, condiciones de seguridad, químicos y biológicos en gran proporción del proceso productivo del banano. Entre los riesgos encontrados se encuentran movimientos repetitivos-de miembros superiores, manipulación manual de cargas, manejo inadecuado de herramientas manuales y mecánicas (machete, rastrillo y guadaña), superficies de trabajo irregulares, picadura de animales e insectos ponzoñosos. Cada riesgo encontrado produce una alteración a nivel de la salud del agregado como dolor, lesiones dorso lumbares, esguinces musculares, heridas leves, laceraciones en miembros superiores e inferiores, caídas al mismo nivel, esguinces, contusiones en diferentes partes del cuerpo, reacciones alérgicas, enfermedades infectocontagiosas, gastroenteritis, envenenamiento, intoxicación. Al no existir ningún tipo de control se requiere intervención inmediata.

Proceso: Cultivo del café

Preparación, establecimiento, siembra, manejo del cultivo, cosecha y beneficio: Son procesos que se realizan en diferentes épocas del año de la producción del café, las tareas realizadas durante estos son rutinarias; mientras estas labores son ejecutas se presentan en una mayor proporción los peligros de condiciones de seguridad, biomecánico, y químico, en comparación a otros peligros existentes que requieren ser intervenidos, pero no de manera inmediata. Entre las consecuencias a los que pueden llevar estos peligros encontrados están heridas leves laceraciones, rasguños, hemorragias, heridas superficiales, dolores articulares, tendinitis, bursitis, esguinces, síndrome del túnel carpiano, dolores dorso lumbares, calambres, dolores agudos, fatiga física, Teno sinovitis, dolores cervicales, problemas respiratorios, irritación en mucosas (ojos, nariz), intoxicación, inhibición del sistema nervioso central (SNC), ataxia, vomito, mareo, alteración de la marcha y la concentración. Están condiciones que alteran la salud del agregado se genera por el manejo herramientas manuales, movimientos repetitivos, posturas forzadas, la irregularidad propia de los terrenos, la utilización de agroquímicos (control de plagas), y la manipulación manual de cargas.

Sin duda alguna se puede estimar que el trabajador agrícola es un grupo vulnerable de padecer enfermedades y accidentes laborales por ello es inminente asumir medidas de control de riesgos para la prevención de estas afecciones y poder promover la salud en este grupo de trabajadores. (Contreras et al., 2023; Vega et al., 2010).

De acuerdo con todo lo anterior se plantea la realización de una encuesta especifica de sintomatología en desordenes musculo esqueléticos, cuyo objetivo es recolectar información sobre la presencia de estos síntomas en esta población para así poder alimentar o implementar un sistema de vigilancia epidemiológica que detecte en forma temprana enfermedades de origen laboral en estos trabajadores. Además, es importante tener en cuenta la resolución 0312 de febrero del 2019 donde todos las empresas o trabajos agropecuarios deben cumplir

unos estándares mínimos para ofrecer garantías de seguridad y salud a sus trabajadores y uno de estos estándares importantes son los exámenes médicos ocupacionales contemplados en la resolución 2646 del 2007 (pre ingreso, periódico y de retiro). También, se debe realizar una investigación sobre las condiciones del agua que consumen estos trabajadores (agua de manantial) por el riesgo de adquisición de diferentes enfermedades infecciosas, por lo cual sería importante la realización análisis parasitológicos del agua. Por otro lado, establecer el diseño ergonómico del puesto de trabajo, adaptar el mobiliario (sillas, mesas, etc.) y la distancia de alcance de los materiales (piezas, herramientas, objetos) a las características personales de cada individuo (estatura, edad, etc.), favoreciendo que se realice el trabajo con comodidad y sin necesidad de realizar sobresfuerzos, evitar los esfuerzos prolongados y la aplicación de una fuerza manual excesiva, sobre todo en movimientos de presa, flexo-extensión y rotación, evitar las tareas repetitivas programando ciclos de trabajo evitando que se repita el mismo movimiento durante más del 50 por ciento de la duración del ciclo. También es necesario utilizar guantes de protección que se ajusten bien a las manos y que no disminuyan la sensibilidad del mismo puesto que, de lo contrario, se tiende a aplicar una fuerza por encima de lo necesario, utilizando los equipos de protección individual necesarios para cada herramienta. (OIT, 2011).

En cuanto al manejo de agroquímicos, es necesario que cuando se vaya a fumigar o utilizarlos, revisar que la maquinaria de pulverización o espolvoreo sea adecuada y este en buen estado, no aplicar en contra del viento, no desatascar las boquillas obturadas soplando con la boca sino con agua o una sonda blanda, ni intentar limpiar las boquillas cuando la bomba esté en funcionamiento o cuando el depósito esté a presión. Los pesticidas deben almacenarse por grupos, de acuerdo con sus diferentes categorías de peligrosidad (inflamabilidad, combustibilidad, corrosividad, toxicidad, etc.) e incompatibilidad. Los almacenes de pesticidas deben permanecer cerrados bajo llave, se debe disponer de un extintor y señalizar la entrada con la palabra veneno y el correspondiente pictograma. (Gentile & Mañas, 2003; Riccioppo, 2011)

4. Conclusiones

El estudio evidenció que los agregados de los predios agropecuarios en la zona rural del Quindío están expuestos a múltiples factores de riesgo, principalmente biomecánicos, químicos, biológicos y de seguridad, lo cual incrementa la probabilidad de accidentes y enfermedades laborales. Esta situación se agrava por la informalidad en el empleo y la falta de afiliación al sistema de seguridad social.

Las jornadas laborales extensas (hasta 12 horas diarias), la inexistencia de agua potable, el uso de herramientas hechizas y la exposición constante a agroquímicos y agentes biológicos reflejan condiciones de trabajo precarias que ponen en riesgo la salud física y mental de los trabajadores. Esta realidad requiere atención prioritaria por parte de las autoridades y empleadores.

Se identificó una carencia generalizada de medidas de control y prevención frente a los riesgos presentes, especialmente en procesos rutinarios como la manipulación de agroquímicos, ordeño, vacunación animal, y siembra o recolección. La ausencia de controles adecuados puede derivar en lesiones graves, enfermedades crónicas y deterioro progresivo de la capacidad laboral.

El estudio demostró la urgencia de implementar sistemas estructurados de gestión del riesgo laboral en los predios agropecuarios. Esto implica la identificación y priorización de los peligros, la valoración del riesgo y la aplicación de medidas correctivas y preventivas, siguiendo los lineamientos de normas técnicas como la GTC 45 y la Resolución 0312 de 2019.

Se hace indispensable rediseñar las condiciones ergonómicas de los puestos de trabajo, con especial atención a la manipulación de cargas, los movimientos repetitivos y las posturas forzadas, factores que actualmente generan alteraciones músculo-esqueléticas en los trabajadores y afectan significativamente su bienestar y productividad.

Se recomienda implementar un sistema de vigilancia epidemiológica para la detección temprana de enfermedades laborales, particularmente trastornos músculo-esqueléticos. Además, se evidencia la necesidad de analizar y controlar la calidad del agua de consumo, que actualmente proviene de manantiales sin tratamiento, lo cual expone a los trabajadores a enfermedades infecciosas.

Los cambios recientes en los modelos productivos del Quindío (como el paso del café de sombrío a cultivos intensivos y el uso masivo de agroquímicos) generan impactos negativos en la salud laboral, el empleo y los ecosistemas. Por tanto, se hace necesaria una revisión del enfoque agrícola hacia una producción más sostenible, saludable y respetuosa con el entorno y las comunidades rurales.

Bibliografía

1 ARISTIZÁBAL JUAN C. (2014). Riesgos laborales y el agro colombiano. Revista Fasecolda. Recuperado de https://www.fasecolda.com/cms/wp-content/uploads/2019/08/agro-colombiano-2012.pdf en junio de 2025

2 ASLAM S.; HUSSAIN B.; RIAZ S.; MUHAMMAD YOUSAF M.; SOHAIL B.; ULLAH F.; HUSSAIN S. (2025). Empowering farmers through science communication: A framework for pesticide risk awareness and adoption Social Sciences & Humanities Open 11 101491. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101491

3 BATOOL S. & NAZIR M. (2023). Swot analysis and strategy option in development: A case of Pakistan's agriculture sector. Pakistan Journal of Agriculture, Agricultural Engineering and Veterinary Sciences, 39 (2), pp. 149-156, https://doi.org/10.47432/2023.39.2.10

4 CONTRERAS P., F.; MONROY E., K.M.; JIMÉNEZ J., H.; ALVARADO A., N.P; BERNAL C., D.P. (2023). Factores de riesgo y medidas de control para minimizar accidentes y enfermedades laborales en la industria agropecuaria: una revisión narrativa. Revista Investig. Salud Univ. Boyacá [Internet]. [citado 13 de junio de 2025];11(1). Disponible en: https://revistasdigitales.uniboyaca.edu.co/index.php/rs/article/view/858

5 CHAVES L., F.; CHUANG T., W.; SASA M.; GUTIÉRREZ J., M. (2015). Snakebites are associated with poverty, weather fluctuations, and El Niño. Sci. Adv. 1, e1500249.

6 DEL PUERTO A.; SUAREZ S.; PALACIO D. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología, 52(3), 372-387. Recuperado en 08 de noviembre de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1561-30032014000300010&lng=es&tlng=es

7 GOLDSTEIN E.; ERINJERY J., J.; MARTIN G.; KASTURIRATNE A.; LALLOO D., G.; MURRAY K., A.; IWAMURA T. (2023). Climate change maladaptation for health: Agricultural practice against shifting seasonal rainfall affects snakebite risk for farmers in the tropics. iScience 26, 105946. https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.105946

8 FREMAP. (2014). Manual de seguridad y salud en el sector agropecuario. N° 61, España: Mutua de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales de la seguridad social. Recuperado de https://www.exyge.eu/blog/wp-content/uploads/2014/12/prl_agricola_fremap.pdf en junio de 2025

9 FUENTES, J. (2003). Riesgos laborales de la actividad agropecuaria: un campo fértil para cultivar nuestra responsabilidad social. Artículo científico ORP Recuperado de https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2003/riesgos-laborales-en-actividad-agropecuaria-campo-fertil-para-cultivar-nuestra-responsabilidad visitado en junio de 2025

10 GENTILE N. & F. MAÑAS. (2003) Encuestas y talleres educativos sobre plaguicidas en pobladores rurales de la comuna de Río de los Sauces, Retel (30). Córdoba-Colombia.

11 GOBIERNO DEL QUINDÍO. (2024). Diagnostico sector agrícola y desarrollo rural, plan de desarrollo departamental 2024 – 2027. Armenia – Quindío. Recuperado en 4 de junio de 2025, de https://quindio.gov.co/home/docs/items/item_100/Plan_de_Desarrollo_2024-2027/Preliminar_2024_2027/Diagn%C3%B3stico/SECTOR_AGRICULTURA.pdf

12 GORDON C. & MARRUGO J. (2018) Prácticas agrícolas y riesgos a la salud por el uso de plaguicidas en agricultores subregión Mojana – Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, Vol. 9, Núm. 1

13 HENAO, F. (2017). Diagnostico situacional de las condiciones de trabajo y salud. 3ª. ed. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.

14 INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO (INSST) (2021). Encuesta europea de condiciones de trabajo 2021 datos de España recuperado de 6 de junio de2025 en https://www.insst.es/documents/94886/5326464/Encuesta+Europea+de+Condiciones+de+Trabajo+2021+Datos+Espa%C3%B1a+%2818-11-2023%29.pdf/e6f46279-de3a-4fbf-1680-ddf93d08d07c?t=1701179937645

15 MINISTERIO DEL TRABAJO. (2015). Decreto 1072 de 2015. Recuperado de: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=72173 visitado en junio 2025

16 OCAMPO, L.F. (2016). Compendio comentado de normas legales en Colombia sobre seguridad y salud en el trabajo. Bogotá, Colombia: Mundo del libro editores.

17 ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO OIT (2023). Seguridad y Salud en el Trabajo, Casi 3 millones de personas mueren por accidentes y enfermedades relacionadas con el trabajo. Recuperado en 6de junio de 2025 de https://www.ilo.org/es/resource/news/casi-3-millones-de-personas-mueren-por-accidentes-y-enfermedades

18 ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO. (2015). La agricultura un trabajo peligroso. Recuperado en junio de 2025 de https://www.ilo.org/es/resource/la-agricultura-un-trabajo-peligroso

19 ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO (OIT). (2011). Repertorio de recomendaciones prácticas sobre seguridad y salud en la agricultura. Recuperado de: https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/normativeinstrument/wcms_161137.pdf visitado el mes de junio de 2025

20 RICCIOPPO, RAÚL D. (2011). Agroquímicos, sus efectos en la población-Medidas de prevención. recuperado en 4 de junio de 2025 de http://www.colmed7.org.ar/files/Trabajos/AGROQUIMICOS.pdf

21 VEGA T., AGUSTÍN; RODRÍGUEZ R., LUZ A.; CONTRERAS B., LEONARDO E. (2010). Condiciones de trabajo y evaluación de los factores de riesgo presentes en la población rural. Tecnura, 14(27), 30-40. Retrieved June 17, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2010000200004&lng=en&tlng=es.

Más allá de la antropometría: sinergia entre los riesgos ergonómicos y salud mental en la práctica profesional del trabajo

[*1]Olga Lucía Rendón García, *[1] Milena Elizabeth Gómez Yepes, ME., [*] y [*2] Lazaro V Cremades Oliver

[*1] Docentes del Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo, Facultad Ciencias de la Salud de la Universidad del Quindío.

[*2] Profesor Universitat Politècnica de Catalunya,vDepartament d'Enginyeria de Projectes i de la Construcció. Barcelona, España-

Abstract

El teletrabajo se consolidó como una modalidad laboral ampliamente implementada tras la pandemia por COVID-19, generando transformaciones sustanciales en la organización del trabajo y en las condiciones de seguridad y salud ocupacional. Aunque esta modalidad ha favorecido la flexibilidad laboral y la continuidad de múltiples actividades económicas, también ha incrementado la exposición de los trabajadores a riesgos ergonómicos y factores psicosociales que pueden afectar de manera significativa su bienestar físico y mental. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la interacción entre los riesgos ergonómicos, los factores psicosociales y la salud mental en teletrabajadores, mediante una revisión integrativa de la literatura científica reciente. Se desarrolló una investigación cualitativa, con alcance descriptivo-explicativo y diseño no experimental, basada en la revisión sistemática de publicaciones indexadas, documentos técnicos y normativa vigente relacionada con el teletrabajo y la seguridad y salud en el trabajo.

La evidencia analizada muestra una elevada prevalencia de trastornos musculoesqueléticos, particularmente en cuello, espalda y miembros superiores, asociada con estaciones de trabajo improvisadas, posturas mantenidas y ausencia de mobiliario ergonómico. Paralelamente, se identificó un incremento del tecnoestrés, la sobrecarga cognitiva, la fatiga mental y la dificultad para establecer límites entre la vida laboral y personal, fenómenos que afectan negativamente el bienestar psicológico y el desempeño laboral. Asimismo, la revisión evidenció importantes brechas entre la normativa vigente y su implementación efectiva por parte de las organizaciones, especialmente en relación con la evaluación de los puestos de trabajo domiciliarios y la gestión de los riesgos psicosociales.

Se concluye que los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo deben evolucionar desde un enfoque centrado exclusivamente en la ergonomía física hacia modelos integrales que incorporen la ergonomía cognitiva, la gestión de los factores psicosociales, la prevención del tecnoestrés y el respeto efectivo del derecho a la desconexión laboral, con el fin de promover entornos de trabajo saludables y sostenibles en escenarios de trabajo remoto.

Abstract en inglés

Teleworking has become one of the most widespread work arrangements following the COVID-19 pandemic, substantially transforming work organization and occupational health and safety conditions. Although this modality has promoted flexibility and operational continuity across numerous sectors, it has also increased workers' exposure to ergonomic hazards and psychosocial risk factors that may adversely affect physical and mental well-being. The aim of this study was to analyze the interaction between ergonomic risks, psychosocial factors, and mental health among teleworkers through an integrative review of recent scientific evidence. A qualitative, descriptive-explanatory, non-experimental study was conducted based on the review of indexed scientific publications, technical documents, and current occupational health and safety regulations.

The reviewed evidence revealed a high prevalence of musculoskeletal disorders, particularly involving the neck, back, and upper limbs, mainly associated with inadequate home workstations, prolonged static postures, and the lack of ergonomic furniture. In addition, the findings indicate increased levels of technostress, cognitive overload, mental fatigue, and difficulties maintaining boundaries between work and personal life, all of which negatively affect psychological well-being and job performance. Furthermore, important gaps were identified between existing occupational health regulations and their effective implementation, especially regarding home workstation assessments and psychosocial risk management.

The findings suggest that Occupational Health and Safety Management Systems should evolve beyond traditional physical ergonomics by incorporating cognitive ergonomics, psychosocial risk management, technostress prevention, and effective digital disconnection strategies to ensure healthier and more sustainable teleworking environments.

Palabras Clave

teletrabajo; riesgos ergonómicos; factores psicosociales; salud mental; tecnoestrés; seguridad y salud en el trabajo. teleworking; ergonomic risks; psychosocial factors; mental health; technostress; occupational health and safety.

1. Introducción

La consolidación del teletrabajo como modalidad de organización laboral ha transformado de manera significativa las condiciones en que se desarrollan numerosas actividades profesionales. Aunque inicialmente fue concebido como una estrategia para favorecer la flexibilidad, la conciliación entre la vida laboral y personal y la continuidad operativa de las organizaciones, su expansión acelerada durante la pandemia por COVID-19 evidenció importantes desafíos relacionados con la seguridad y salud en el trabajo. En numerosos casos, el traslado de las actividades laborales al domicilio ocurrió sin una planificación suficiente de las condiciones ergonómicas, tecnológicas y organizacionales requeridas para garantizar entornos de trabajo seguros y saludables.

La Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2020) ha señalado que la implementación masiva del teletrabajo incrementó la exposición a riesgos emergentes asociados tanto a las condiciones físicas de los puestos de trabajo domiciliarios como a la organización del trabajo, la intensificación del uso de tecnologías digitales y la prolongación de la jornada laboral. En este contexto, la salud ocupacional trasciende la evaluación tradicional de los factores biomecánicos para incorporar dimensiones relacionadas con la ergonomía cognitiva, los factores psicosociales y la salud mental.

La evidencia científica reciente muestra que una proporción considerable de teletrabajadores desarrolla trastornos musculoesqueléticos asociados con estaciones de trabajo improvisadas, mobiliario no ergonómico, posturas estáticas prolongadas y uso intensivo de equipos informáticos. Diversas investigaciones reportan prevalencias elevadas de dolor cervical, lumbar y en miembros superiores, constituyendo uno de los principales problemas de salud derivados del trabajo remoto (García-Salirrosas y Sánchez-Poma, 2020; Cristancho et al., 2022; Lopera Orrego et al., 2023; Álvarez Luna et al., 2025).

No obstante, los efectos del teletrabajo no se limitan a la dimensión física. El incremento de la conectividad permanente, la presión por responder de manera inmediata, la multiplicidad de plataformas digitales y la difuminación de los límites entre la vida laboral y personal han favorecido la aparición de fenómenos como el tecnoestrés, la fatiga mental, el agotamiento emocional y el deterioro del bienestar psicológico. Estas condiciones afectan la productividad, la satisfacción laboral y la calidad de vida de los trabajadores, además de potenciar la aparición o cronificación de trastornos musculoesqueléticos.

La literatura internacional plantea que los riesgos ergonómicos y los factores psicosociales no deben analizarse de manera independiente, sino como componentes interrelacionados de un mismo sistema de trabajo. Desde esta perspectiva, la carga cognitiva, el estrés sostenido y la sobreexposición tecnológica pueden amplificar la percepción del dolor, incrementar la tensión muscular y dificultar los procesos de recuperación fisiológica, configurando un escenario de mayor vulnerabilidad para la salud integral del teletrabajador.

En Colombia, si bien el marco normativo en materia de teletrabajo y seguridad y salud en el trabajo, ha experimentado avances importantes mediante la expedición de la Ley 1221 de 2008, el Decreto 884 de 2012, el Decreto 1072 de 2015, la Ley 2088 de 2021 y la Ley 2191 de 2022, persisten desafíos relacionados con la implementación efectiva de estas disposiciones en los contextos de trabajo remoto. La evidencia disponible señala limitaciones en la evaluación de los puestos de trabajo domiciliarios, en la identificación de riesgos psicosociales y en la incorporación de estrategias preventivas orientadas a la ergonomía cognitiva y al derecho a la desconexión laboral.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo analizar la interacción entre los riesgos ergonómicos, los factores psicosociales y la salud mental en teletrabajadores, mediante una revisión integrativa de la evidencia científica reciente. De manera específica, se buscó caracterizar los principales trastornos musculoesqueléticos asociados al trabajo remoto, identificar los factores psicosociales que afectan el bienestar mental y analizar las implicaciones de estos hallazgos para el fortalecimiento de los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, desde una perspectiva integral orientada a la prevención y promoción de la salud.

2. Metodología

Tipo de estudio

La presente investigación corresponde a una revisión integrativa de la literatura, con enfoque cualitativo, alcance descriptivo-analítico y diseño no experimental. Este tipo de revisión permite sintetizar, analizar e integrar evidencia científica proveniente de diferentes diseños metodológicos con el propósito de ofrecer una comprensión amplia y crítica de un fenómeno de interés, favoreciendo la identificación de tendencias, vacíos del conocimiento y oportunidades para la investigación futura (Whittemore & Knafl, 2005; Booth et al., 2021).

La elección de este diseño respondió a la necesidad de examinar de manera conjunta la evidencia disponible sobre la interacción entre los riesgos ergonómicos, los factores

psicosociales y la salud mental en el contexto del teletrabajo, considerando la diversidad de enfoques metodológicos reportados en la literatura reciente.

Estrategia de búsqueda bibliográfica

La búsqueda de información se desarrolló mediante una estrategia sistemática orientada a identificar investigaciones publicadas sobre teletrabajo, ergonomía, factores psicosociales, salud mental y Seguridad y Salud en el Trabajo. Para ello se consultaron bases de datos académicas de reconocimiento internacional y regional, entre ellas Scopus, ScienceDirect, PubMed, SciELO, Redalyc y Google Scholar, complementadas con la revisión de documentos técnicos y normativos emitidos por organismos nacionales e internacionales relacionados con el ámbito laboral.

La construcción de la estrategia de búsqueda se fundamentó en la combinación de descriptores en español e inglés mediante operadores booleanos (AND y OR). Entre los principales términos utilizados se incluyeron: teletrabajo, trabajo remoto, ergonomía, riesgos ergonómicos, factores psicosociales, salud mental, tecnoestrés, teleworking, ergonomic risks, psychosocial factors, mental health y occupational health. La utilización de sinónimos y términos equivalentes permitió ampliar la sensibilidad de la búsqueda y recuperar estudios pertinentes para el objetivo de la investigación.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron publicaciones que cumplieron los siguientes criterios:

Estudios científicos publicados entre 2020 y 2025.

Artículos originales, revisiones sistemáticas, revisiones integrativas y documentos científicos relacionados con el teletrabajo.

Investigaciones centradas en riesgos ergonómicos, trastornos musculoesqueléticos, factores psicosociales, salud mental o estrategias preventivas aplicadas al trabajo remoto.

Publicaciones en español e inglés.

Documentos con acceso al texto completo.

Se excluyeron:

Estudios que abordaban modalidades laborales diferentes al teletrabajo sin establecer relación con el objetivo de la revisión.

Publicaciones de opinión, editoriales, noticias y documentos sin respaldo científico.

Estudios duplicados.

Investigaciones con información insuficiente para el análisis.

Asimismo, se incorporó la normativa colombiana vigente relacionada con teletrabajo y Seguridad y Salud en el Trabajo, por constituir el marco jurídico de referencia para el análisis contextual del fenómeno.

Selección de los estudios

La selección de las publicaciones se realizó mediante la aplicación sucesiva de los criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos. Inicialmente se efectuó la revisión de títulos y resúmenes con el fin de identificar la pertinencia temática de cada documento; posteriormente, los textos potencialmente relevantes fueron examinados de forma completa para determinar su contribución al objetivo de la investigación.

Debido a que el proceso de búsqueda bibliográfica fue desarrollado como parte de una revisión integrativa y no se documentó inicialmente mediante un registro secuencial de identificación, depuración y exclusión de estudios, no fue posible presentar el diagrama de flujo conforme a la declaración PRISMA 2020. No obstante, con el propósito de garantizar la transparencia metodológica del proceso de revisión, en la sección de resultados se presenta la caracterización de los estudios incluidos, especificando las principales características de las investigaciones analizadas y su contribución al desarrollo del presente trabajo.

Extracción y análisis de la información

La información de los estudios seleccionados fue organizada mediante una matriz de análisis que permitió registrar aspectos relacionados con el autor, año de publicación, país de procedencia, temática abordada y principales aportes para la comprensión del fenómeno estudiado. Posteriormente, se efectuó un proceso de análisis temático orientado a identificar patrones de convergencia y divergencia entre las investigaciones, así como tendencias emergentes relacionadas con los riesgos ergonómicos, los factores psicosociales y la salud mental en teletrabajadores.

Los hallazgos fueron agrupados en categorías analíticas construidas a partir de la evidencia revisada: riesgos ergonómicos, factores psicosociales, salud mental, interacción entre las dimensiones física y psicosocial, e implicaciones para la Seguridad y Salud en el Trabajo. Esta organización facilitó la integración crítica de la literatura y permitió interpretar los resultados desde una perspectiva interdisciplinaria.

Con el fin de fortalecer la validez del análisis, la interpretación de los resultados se realizó mediante la comparación crítica de los hallazgos reportados en los diferentes estudios, identificando coincidencias, discrepancias y vacíos de conocimiento que orientan futuras líneas de investigación y contribuyen al fortalecimiento de las estrategias de prevención en el ámbito del teletrabajo.

3. Resultados y discusión de resultados

Caracterización de los estudios incluidos

La revisión integró investigaciones publicadas entre 2020 y 2025 que abordaron los riesgos ergonómicos, los factores psicosociales y la salud mental en el contexto del teletrabajo. La producción científica analizada evidenció un predominio de estudios desarrollados en países latinoamericanos, especialmente Colombia, Perú, Ecuador y México, complementados con investigaciones provenientes de Europa. Esta distribución geográfica refleja el creciente interés por comprender las implicaciones del trabajo remoto sobre la salud ocupacional en diferentes contextos laborales.

En términos generales, los estudios revisados analizaron la aparición de trastornos musculoesqueléticos, la influencia de los factores psicosociales derivados del trabajo remoto y las estrategias de intervención orientadas a fortalecer la Seguridad y Salud en el Trabajo. Aunque se identificó diversidad metodológica entre las investigaciones, los hallazgos muestran una tendencia consistente respecto al incremento de los riesgos asociados al teletrabajo y a la necesidad de implementar enfoques preventivos integrales que incorporen tanto la ergonomía física como la ergonomía cognitiva.

Tabla 1. Caracterización general de los estudios incluidos en la revisión integrativa

Autor (Año)	País	Tipo de publicación	Temática principal	Contribución para la presente revisión
García-Salirrosas y Sánchez-Poma (2020)	Perú	Artículo científico	Trastornos musculoesqueléticos en teletrabajadores	Evidencia sobre la prevalencia de molestias osteomusculares asociadas al trabajo remoto.
López-Acosta et al. (2021)	México	Artículo científico	Riesgos ergonómicos en docentes	Identifica los principales factores ergonómicos presentes durante el teletrabajo.
Camargo Riaño y Arias Castelblanco (2022)	Colombia	Trabajo de especialización	Ergonomía en teletrabajo	Analiza las condiciones ergonómicas implementadas durante la pandemia por COVID-19.
Cristancho, Almario y Castellanos-Domínguez (2022)	Colombia	Artículo científico	Trastornos musculoesqueléticos en docentes universitarios	Describe la frecuencia de molestias musculoesqueléticas asociadas al trabajo remoto.
Rojas Gómez (2022)	Colombia	Trabajo de grado	Desórdenes osteomusculares	Evidencia nacional sobre alteraciones osteomusculares relacionadas con el teletrabajo.
Lopera Orrego et al. (2023)	Colombia	Artículo científico	Factores asociados a desórdenes musculoesqueléticos	Analiza los factores individuales y organizacionales relacionados con estos trastornos.
Ortíz Pazmiño et al. (2023)	Ecuador	Artículo científico	Riesgos ergonómicos en docentes	Caracteriza los principales factores de riesgo presentes en el trabajo remoto.
Reyes-Ruiz et al. (2023)	Latinoamérica	Artículo científico	Fatiga laboral y teletrabajo	Examina la relación entre teletrabajo, fatiga y bienestar ocupacional.
Romero Haddad, de la Puente-Jabib y Alfonso Garzón (2023)	Colombia	Artículo científico	Ergonomía aplicada al teletrabajo	Presenta estrategias preventivas para mejorar las condiciones ergonómicas del trabajo remoto.
Santana Londoño (2023)	Colombia	Artículo científico	Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo	Propone estrategias para fortalecer la gestión preventiva en escenarios de teletrabajo.
Montenegro-López y Arana-Blas (2024)	Perú	Artículo científico	Factores laborales y trastornos musculoesqueléticos	Analiza la relación entre las condiciones laborales y la aparición de trastornos musculoesqueléticos.
Benítez Salinas (2024)	México	Artículo científico	Estrés laboral	Evidencia el impacto del teletrabajo sobre el bienestar psicológico de los trabajadores.

Autor (Año)	País	Tipo de publicación	Temática principal	Contribución para la presente revisión
Álvarez Luna et al. (2025)	Ecuador	Artículo científico	Riesgos ergonómicos en docentes universitarios	Actualiza la evidencia sobre ergonomía y salud ocupacional en teletrabajadores.
Martínez Gárate, Casal Pardo y Valdés del Olmo (2025)	España	Revisión sistemática	Efectos del teletrabajo sobre la salud	Integra la evidencia reciente sobre las consecuencias físicas y psicosociales del trabajo remoto.

Nota. La caracterización se elaboró a partir de los estudios científicos incluidos en la presente revisión integrativa y resume su principal aporte al objetivo del estudio.

Riesgos ergonómicos asociados al teletrabajo

La revisión constata que los riesgos ergonómicos constituyen una de las principales amenazas para la salud de los teletrabajadores. Las investigaciones coinciden en señalar que la ausencia de estaciones de trabajo diseñadas bajo criterios ergonómicos favorece la adopción de posturas estáticas prolongadas, el uso inadecuado de equipos informáticos y la exposición continua a movimientos repetitivos. Estas condiciones incrementan la probabilidad de desarrollar trastornos musculoesqueléticos, especialmente en cuello, hombros, región lumbar y miembros superiores.

Los estudios incluidos reportan que gran parte de los teletrabajadores desarrolló sus actividades en espacios domésticos adaptados de manera improvisada, sin mobiliario ajustable ni condiciones adecuadas de iluminación, ventilación y organización del puesto de trabajo. Esta situación evidencia la necesidad de fortalecer los programas de evaluación ergonómica domiciliaria como componente esencial de los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Factores psicosociales y salud mental

Además de los riesgos físicos, la literatura analizada evidencia un incremento significativo de los factores psicosociales asociados al teletrabajo. Entre los aspectos más frecuentes se identifican la sobrecarga laboral, la hiperconectividad, la dificultad para establecer límites entre la vida personal y laboral, el aislamiento social y el incremento de la carga cognitiva derivada del uso intensivo de tecnologías digitales.

Estos factores favorecen la aparición de estrés laboral, fatiga mental, agotamiento emocional y síntomas compatibles con el síndrome de burnout. La evidencia revisada indica que dichos efectos no solo repercuten sobre el bienestar psicológico de los trabajadores, sino también sobre su desempeño laboral, productividad y satisfacción con el trabajo.

Interacción entre los riesgos ergonómicos y los factores psicosociales

Uno de los hallazgos más relevantes de la presente revisión es la estrecha interacción entre las dimensiones física y psicosocial del teletrabajo. Los estudios coinciden en que la exposición simultánea a posturas inadecuadas, carga física sostenida y elevados niveles de estrés puede potenciar el desarrollo de trastornos musculoesqueléticos y prolongar los procesos de recuperación.

Esta interacción pone de manifiesto que los problemas de salud derivados del teletrabajo no responden a un único factor de riesgo, sino a la convergencia de múltiples condiciones laborales, organizacionales y personales que requieren estrategias preventivas integrales.

Implicaciones para la Seguridad y Salud en el Trabajo

Los resultados de la revisión revelan la necesidad de fortalecer los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo mediante la incorporación de enfoques preventivos que integren la ergonomía física, la ergonomía cognitiva y la gestión de los factores psicosociales.

Las organizaciones deben implementar programas de evaluación ergonómica de los puestos de trabajo domiciliarios, promover pausas activas, desarrollar procesos permanentes de capacitación en hábitos saludables de trabajo remoto y establecer mecanismos efectivos para garantizar el derecho a la desconexión laboral. De igual manera, resulta indispensable fortalecer las estrategias de vigilancia epidemiológica relacionadas con los trastornos musculoesqueléticos y la salud mental, favoreciendo intervenciones interdisciplinarias orientadas a preservar el bienestar integral de los teletrabajadores.

Discusión

Los hallazgos de la presente revisión integrativa permiten afirmar que el teletrabajo representa un escenario complejo para la Seguridad y Salud en el Trabajo, debido a la interacción permanente entre los riesgos ergonómicos, los factores psicosociales y la salud mental de los trabajadores. Aunque esta modalidad laboral ha favorecido la continuidad de las actividades productivas y ha ampliado las posibilidades de flexibilidad organizacional, la evidencia científica demuestra que su implementación, en numerosos casos, se realizó sin garantizar condiciones adecuadas de ergonomía, organización del trabajo y prevención de riesgos ocupacionales.

Uno de los principales resultados identificados fue la elevada frecuencia de trastornos musculoesqueléticos asociados con la adopción de posturas mantenidas, el uso prolongado de equipos informáticos y la ausencia de estaciones de trabajo diseñadas bajo criterios ergonómicos. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por García-Salirrosas y Sánchez-Poma (2020), Cristancho et al. (2022), Lopera Orrego et al. (2023) y Álvarez Luna et al. (2025), quienes documentan una mayor prevalencia de dolor cervical, lumbar y de miembros superiores en trabajadores que desarrollan sus actividades desde el domicilio. En conjunto, estos estudios respaldan la necesidad de incorporar evaluaciones ergonómicas específicas para el trabajo remoto como parte de las acciones permanentes de los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

No obstante, la revisión permite concluir que los efectos del teletrabajo trascienden la dimensión biomecánica. La literatura analizada muestra que la intensificación del uso de tecnologías digitales, la conectividad permanente y la reorganización de las dinámicas laborales han incrementado la exposición a factores psicosociales que afectan de manera significativa el bienestar de los trabajadores. Entre los riesgos más frecuentes se identifican la sobrecarga laboral, la dificultad para establecer límites entre la vida laboral y personal, el aislamiento social y el aumento de la carga cognitiva, condiciones asociadas con mayores niveles de estrés, fatiga mental y agotamiento emocional. Estos resultados son consistentes con las tendencias descritas en la literatura reciente, que reconoce el tecnoestrés como uno de los riesgos emergentes más relevantes en los entornos de trabajo digitalizados.

Un aspecto particularmente relevante de esta revisión es la relación bidireccional entre los riesgos ergonómicos y los factores psicosociales. Los estudios analizados sugieren que el incremento del estrés laboral y de la carga mental puede intensificar la percepción del dolor musculoesquelético, mientras que la presencia de molestias físicas persistentes contribuye al deterioro del bienestar psicológico y de la calidad de vida laboral. Esta interacción pone de manifiesto que la prevención de los riesgos ocupacionales en el teletrabajo requiere enfoques integrales que superen la evaluación aislada de los factores físicos y consideren la influencia de los procesos cognitivos, emocionales y organizacionales sobre la salud de los trabajadores.

Desde la perspectiva de la Seguridad y Salud en el Trabajo, los resultados ponen de relieve la necesidad de replantear las estrategias tradicionales de gestión del riesgo. Las acciones preventivas no deben limitarse a la adecuación del mobiliario o a la capacitación en higiene postural, sino incorporar programas orientados a la promoción de la salud mental, la gestión de la carga de trabajo, el fortalecimiento de competencias digitales saludables y la prevención del tecnoestrés. Asimismo, el reconocimiento y la aplicación efectiva del derecho a la desconexión laboral constituyen un elemento esencial para reducir la exposición a riesgos psicosociales y favorecer el equilibrio entre las responsabilidades laborales y la vida personal.

Otro hallazgo relevante corresponde a la brecha existente entre el desarrollo normativo y su implementación práctica. Aunque Colombia dispone de un marco jurídico que regula el teletrabajo y establece obligaciones en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo, la evidencia revisada indica que muchas organizaciones presentan dificultades para adaptar sus procesos de gestión preventiva a los entornos laborales domiciliarios. Esta situación limita la identificación oportuna de peligros, la evaluación de las condiciones reales de trabajo y el diseño de intervenciones ajustadas a las características particulares de esta modalidad laboral. En consecuencia, resulta necesario fortalecer la aplicación efectiva de la normativa mediante instrumentos de evaluación ergonómica, vigilancia epidemiológica y seguimiento de los factores psicosociales específicos del trabajo remoto.

La revisión también evidencia la importancia de incorporar la ergonomía cognitiva como un componente estratégico de los programas de prevención. Tradicionalmente, las intervenciones ergonómicas se han concentrado en aspectos físicos del puesto de trabajo; sin embargo, el creciente uso de plataformas digitales, la multiplicidad de canales de comunicación y la sobrecarga informativa demandan una visión más amplia que considere la interacción entre las personas, las tecnologías y la organización del trabajo. En este contexto, la ergonomía cognitiva constituye un elemento clave para optimizar el desempeño laboral, reducir la fatiga mental y favorecer entornos de trabajo más seguros y saludables.

Entre las fortalezas de esta revisión se destaca la integración de evidencia científica reciente procedente de diferentes contextos geográficos, lo que permitió obtener una visión amplia de las implicaciones del teletrabajo sobre la salud ocupacional. La inclusión de investigaciones latinoamericanas aporta especial relevancia al análisis, debido a las similitudes existentes en las condiciones laborales, organizacionales y normativas de la región. Asimismo, la incorporación de documentos normativos permitió contextualizar los resultados dentro del marco regulatorio colombiano, facilitando la interpretación de sus implicaciones para la práctica profesional en Seguridad y Salud en el Trabajo.

No obstante, esta investigación presenta algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. La heterogeneidad metodológica de los estudios incluidos dificulta la comparación directa de algunos hallazgos, particularmente en relación con los instrumentos utilizados para evaluar los riesgos ergonómicos y los factores psicosociales. Adicionalmente, la rápida evolución del teletrabajo y de las tecnologías digitales hace probable la aparición de nueva evidencia científica que complemente o amplíe los resultados aquí presentados. Por ello, se recomienda desarrollar revisiones sistemáticas y estudios longitudinales que permitan evaluar la evolución de estos riesgos y la efectividad de las estrategias preventivas implementadas en diferentes sectores económicos.

Finalmente, los hallazgos de esta revisión respaldan la necesidad de consolidar un modelo integral de gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo para el teletrabajo, basado en la articulación entre la ergonomía física, la ergonomía cognitiva, la gestión de los factores psicosociales y la promoción de la salud mental. La adopción de este enfoque permitirá diseñar intervenciones preventivas más efectivas, fortalecer la capacidad de respuesta de las organizaciones frente a los riesgos emergentes del trabajo remoto y contribuir al desarrollo de

entornos laborales sostenibles que favorezcan simultáneamente la productividad, el bienestar y la calidad de vida de los trabajadores.

4. Conclusiones

La presente revisión integrativa permitió analizar la evidencia científica reciente sobre la interacción entre los riesgos ergonómicos, los factores psicosociales y la salud mental en el contexto del teletrabajo, evidenciando que estas dimensiones constituyen un sistema interdependiente que influye de manera significativa en la salud y el bienestar de los trabajadores. Los estudios analizados muestran que los problemas derivados del trabajo remoto no pueden comprenderse únicamente desde la perspectiva de la ergonomía física, sino que requieren un enfoque integral que incorpore los factores organizacionales, cognitivos y psicosociales involucrados en esta modalidad laboral.

La evidencia revisada confirma que la adopción de posturas prolongadas, la utilización de puestos de trabajo con condiciones ergonómicas inadecuadas y el uso intensivo de tecnologías digitales favorecen la aparición de trastornos musculoesqueléticos, especialmente en cuello, espalda y miembros superiores. Paralelamente, la sobrecarga laboral, la hiperconectividad, la dificultad para establecer límites entre la vida laboral y personal y el incremento de la carga cognitiva se asocian con mayores niveles de estrés, fatiga mental y agotamiento emocional, configurando un escenario de riesgo para la salud integral del teletrabajador.

Un hallazgo relevante de esta revisión es la identificación de la estrecha relación existente entre los riesgos ergonómicos y los factores psicosociales. La evidencia indica que ambos componentes interactúan de manera permanente, potenciando sus efectos sobre la salud física y mental de los trabajadores. En consecuencia, las estrategias preventivas orientadas exclusivamente a la adecuación del puesto de trabajo resultan insuficientes si no se acompañan de intervenciones dirigidas a la gestión de la carga laboral, la organización del trabajo, la prevención del tecnoestrés y la promoción del bienestar psicológico.

Desde la perspectiva de la Seguridad y Salud en el Trabajo, los resultados ponen de manifiesto la necesidad de fortalecer los Sistemas de Gestión mediante la incorporación de enfoques preventivos integrales que articulen la ergonomía física, la ergonomía cognitiva y la gestión de los factores psicosociales. Asimismo, resulta prioritario promover la evaluación ergonómica de los puestos de trabajo domiciliarios, implementar programas de formación orientados al trabajo remoto saludable y consolidar mecanismos efectivos que garanticen el derecho a la desconexión laboral y favorezcan el equilibrio entre las responsabilidades laborales y la vida personal.

Si bien Colombia dispone de un marco normativo que regula el teletrabajo y establece obligaciones para empleadores y trabajadores en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo, la revisión evidencia que persisten desafíos relacionados con la aplicación efectiva de dichas disposiciones en los entornos laborales domiciliarios. Este panorama resalta la importancia de fortalecer la implementación de estrategias de vigilancia, seguimiento e intervención que respondan a las características particulares del trabajo remoto y a los riesgos emergentes asociados con la transformación digital del trabajo.

Finalmente, esta revisión aporta una visión integradora del fenómeno al reunir y analizar evidencia reciente sobre las implicaciones del teletrabajo para la salud ocupacional. Sus resultados pueden servir como referente para investigadores, profesionales y responsables de la gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo interesados en el diseño de políticas, programas e intervenciones orientadas a promover entornos laborales más saludables, seguros y sostenibles. Asimismo, se recomienda desarrollar investigaciones longitudinales y estudios de

intervención que permitan evaluar la efectividad de las estrategias preventivas implementadas y generar evidencia que fortalezca la toma de decisiones en esta modalidad de trabajo.

Bibliografía

Álvarez Luna, J., Delgado López, D. A., Luna Baez, A. A., & Calva Herrera, L. A. (2025). Riesgos ergonómicos en la salud de los docentes universitarios en el teletrabajo. UNESUM-Ciencias, 9 (1). https://doi.org/10.47230/unesum-ciencias.v9.n1.2025.61-73

Benítez Salinas, M. (2024). Impacto del teletrabajo en el estrés laboral de docentes universitarios por el covid-19. RIDE Rev. Iberoam. Investig. Desarro. Educ., 14 (28). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-74672024000100606&lng=es&nrm=iso

Booth, A., Sutton, A., & Papaioannou, D. (2021). Systematic approaches to a successful literature review (3rd ed.). Sage.

Camargo Riaño, L. M., & Arias Castelblanco, L. (2022). Ergonomía en teletrabajo durante la pandemia por COVID-19 [Trabajo de especialización]. Universidad ECCI.

Cristancho, A. N., Almario, A., & Castellanos-Domínguez, Y. (2022). Trastornos musculoesqueléticos en docentes universitarios que realizan teletrabajo. Universidad y Salud, 24(3), 247–255. https://doi.org/10.22267/rus.222403.286

García-Salirrosas, E. E., & Sánchez-Poma, R. A. (2020). Prevalencia de trastornos musculoesqueléticos en docentes universitarios que realizan teletrabajo en tiempos de COVID-19. SciELO Preprints. https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.1014

Lopera Orrego, M. L., Cataño Saldarriaga, E. A., Sáez Gallego, E. Z., & Quiroz-Ríos, R. A. (2023). Factores asociados a desórdenes musculoesqueléticos en docentes teletrabajadores de una universidad pública de Medellín, Colombia. Salud de los Trabajadores, 31(2), 167–178.

López-Acosta, M., Chacara-Montes, A., Velarde-Cantú, J. M., Ramírez-Cárdenas, E., & Báez-Hernández, G. E. (2021). Riesgos en el teletrabajo en docentes de educación básica. Ergonomía, Investigación y Desarrollo, 3(3), 129–142. https://doi.org/10.29393/EID3-30RTMG50030

Martínez Gárate, I., Casal Pardo, B., & Valdés del Olmo, L. (2025). Efectos del teletrabajo en la salud de los trabajadores: Una revisión sistemática. Medicina y Seguridad del Trabajo, 71(278). https://doi.org/10.4321/S0465-546X2025000100005

Montenegro-López, I. I., & Arana-Blas, R. D. (2024). Factores de riesgo laborales asociados a trastornos musculoesqueléticos que afectan a docentes. Ergonomía, Investigación y Desarrollo, 6(2), 67–80. https://doi.org/10.29393/EID6-14FRIR20014

Organización Internacional del Trabajo. (2020). El teletrabajo durante la pandemia de COVID-19 y después de ella: Guía práctica.

Ortíz Pazmiño, O. G., Villarroel Ponce, E. C., Benavides Sánchez, P. S. (2023). Riesgo ergonómico y trastornos musculoesqueléticos del teletrabajo en docentes del IST Riobamba. Revista Ciencia y Desarrollo (2), http://istriobamba.edu.ec/ojs/index.php/revistacienciaydesarrollo_istr

Reyes-Ruiz, F., López-García, Y., Ortega-Pérez, M. I., Sevilla-González, M. de la L., González-Díaz, G., & Sibaja-Terán, B. (2023). Fatiga y teletrabajo en docentes de Latinoamérica. Ergonomía, Investigación y Desarrollo, 5(2), 77–86. https://doi.org/10.29393/EID5-15FTFR60015

Rojas Gómez, C. A. (2022). Desórdenes osteomusculares asociados al teletrabajo en docentes de la UNAD ZCBOY durante el tiempo de pandemia por COVID-19 [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. https://repository.unad.edu.co/handle/10596/47636

Romero Haddad, C., de la Puente-Jabib, K., & Alfonso Garzón, L. F. (2023). La ergonomía para el trabajo remoto en docentes. Revista Campo da História, 8(2), 671–697. https://doi.org/10.55906/rcdhv8n2-013

Santana Londoño, M. V. (2023). Implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Revista Republicana, 34, 209–224. https://doi.org/10.21017/rev.repub.2023.v34.a145

Vicente-Herrero, M. T., et al. (2018). El teletrabajo en salud laboral. Revista CES Derecho, 9(2). https://revistas.ces.edu.co/index.php/derecho/article/view/4668

De LEGO® a Algoritmos: co-inteligencia y Algorithmic Business Thinking para estrategias vivas de SST y Gestión Ambiental

Edwin Roberto Gonzalez

Director de Entorno Saludable y Sostenible, Universidad de La Sabana, Colombia

Profesor Instituto de Posgrados FÓRUM · Facilitador LEGO® Serious Play®

Correspondencia: edwin.gonzalez@unisabana.edu.co

Abstract

Antecedentes: Muchas organizaciones cuentan con marcos normativos de seguridad y salud en el trabajo (SST) y gestión ambiental, pero enfrentan dificultades para convertirlos en estrategias vivas: comprensibles, priorizadas, medibles y sostenidas por la cultura.

Objetivo: Describir y sistematizar un enfoque de intervención que fusiona LEGO® Serious Play® y Algorithmic Business Thinking (ABT) para diseñar, hacer seguimiento y evaluar estrategias integradas de SST y gestión ambiental, potenciando capacidades humanas y digitales con co-inteligencia.

Método: Se realizó una intervención multicaso mediante más de 50 workshops con equipos directivos y operativos. El proceso combinó: (1) modelado tangible para externalizar conocimiento tácito, (2) traducción algorítmica con ABT (descomposición del problema, reglas de decisión y criterios), (3) definición de arquitectura de gestión (roles, rutinas y gobierno), y (4) construcción de indicadores, tableros y ciclos PHVA para aprendizaje continuo. Se recopilaron entregables generados y retroalimentación cualitativa posterior.

Resultados: Los workshops produjeron hojas de ruta integradas, portafolios de iniciativas priorizadas, reglas de decisión explícitas y tableros de indicadores para el monitoreo periódico. En la retroalimentación cualitativa, los participantes reportaron mayor alineación transversal, menor ambigüedad estratégica y mejor trazabilidad entre riesgos/aspectos, acciones y métricas.

Conclusión: La combinación LEGO® Serious Play® + ABT actúa como un puente entre creatividad colectiva y lógica operacional, habilitando estrategias replicables y evaluables para organizaciones que buscan desempeños más seguros, saludables y sostenibles.

Palabras Clave

Seguridad y Salud en el Trabajo; Gestión Ambiental; LEGO Serious Play; Algorithmic Business Thinking; co-inteligencia; Estrategia; Innovación.

1. Introducción

La seguridad y salud en el trabajo (SST) y la gestión ambiental atraviesan una paradoja incómoda. La Organización Internacional del Trabajo estima que cerca de 3 millones de personas trabajadoras mueren cada año por causas relacionadas con el trabajo y que alrededor de 395 millones sufren lesiones no mortales (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2023). Al mismo tiempo, nunca antes las organizaciones habían dispuesto de tantos marcos de referencia para gestionar estos riesgos: estándares internacionales certificables como ISO 45001:2018 e ISO 14001:2015 (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2015, 2018) y, en el contexto colombiano, un cuerpo normativo robusto encabezado por el Decreto 1072 de 2015 y la Resolución 0312 de 2019, que definen el Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) y sus estándares mínimos. La literatura ha comenzado a documentar el reverso de esta abundancia: la acumulación de procedimientos, formatos y controles que no agregan valor preventivo —el fenómeno de safety clutter— consume capacidad organizacional y erosiona la credibilidad de los sistemas de gestión (Rae et al., 2018). En paralelo, la perspectiva Safety-II invita a desplazar el foco desde el cumplimiento documental hacia la comprensión de cómo el trabajo se realiza y se adapta en condiciones reales (Hollnagel, 2014). El problema, en síntesis, no es la ausencia de norma, sino la distancia entre el sistema documentado y la estrategia vivida.

Dos corrientes de conocimiento, desarrolladas en campos distintos, ofrecen piezas complementarias para cerrar esa distancia. La primera es LEGO® Serious Play® (LSP)1, una metodología de facilitación fundamentada en el construccionismo, según el cual las personas piensan y aprenden mejor cuando construyen artefactos externos y compartibles (Papert y Harel, 1991). Su promesa central es la conexión mano-mente: al modelar con las manos, los equipos externalizan conocimiento tácito difícil de verbalizar (Kristiansen y Rasmussen, 2014; Nonaka y Takeuchi, 1995), participan en condiciones de mayor equidad e implicación —el estado de flow descrito por Csikszentmihalyi (1990)— y elevan la seguridad psicológica necesaria para hablar de riesgos, errores y prioridades (Edmondson, 1999). Su aplicación a la formulación estratégica ha sido descrita como una forma de jugar seriamente con la estrategia, capaz de generar identidad y compromiso (Roos et al., 2004). La segunda corriente proviene del pensamiento computacional, entendido como la capacidad de formular problemas y soluciones de modo que puedan ser ejecutados por agentes de procesamiento de información (Wing, 2006). Sobre esa base, el Algorithmic Business Thinking (ABT) propone que los equipos directivos — no solo los técnicos— aprendan a descomponer problemas, explicitar reglas de decisión y diseñar criterios evaluables, como lenguaje común entre capacidades humanas y digitales (MIT Sloan Executive Education, s.f.). La noción de co-inteligencia sintetiza el horizonte de esta corriente: personas y sistemas algorítmicos trabajando juntos, cada uno en aquello en lo que es mejor, bajo supervisión humana informada (Mollick, 2024).

Ambas corrientes se han desarrollado de manera prácticamente paralela. La literatura sobre LSP se concentra en educación, desarrollo de equipos y formulación estratégica, mientras que la conversación sobre pensamiento algorítmico y co-inteligencia habita en la transformación digital y la gestión de la innovación. Hasta donde alcanza la revisión realizada, no se identificaron trabajos en el ámbito de la prevención de riesgos laborales y la gestión ambiental que conecten sistemáticamente

1 LEGO®, SERIOUS PLAY®, la minifigura y las configuraciones de ladrillo y botón son marcas registradas del Grupo LEGO, que no patrocina, autoriza ni respalda este documento. La metodología se emplea conforme a los lineamientos de su guía de código abierto (Grupo LEGO,

2010).

el modelado tangible con la traducción algorítmica de la estrategia; es decir, que conviertan lo que un equipo construye y narra con las manos en reglas de decisión, arquitecturas de

gobierno e indicadores trazables. Esa es la laguna que este trabajo aborda: la ausencia de un enfoque documentado y replicable que una la potencia participativa de LSP con la disciplina operacional del ABT al servicio de la SST y la gestión ambiental.

En consecuencia, el objetivo primario de este trabajo es describir y sistematizar un enfoque de intervención que fusiona LEGO® Serious Play® y Algorithmic Business Thinking para diseñar, hacer seguimiento y evaluar estrategias integradas de SST y gestión ambiental, potenciando capacidades humanas y digitales con co-inteligencia. Como objetivos secundarios se plantean: (a) caracterizar los entregables que produce el enfoque y su función dentro del sistema de gestión; (b) sintetizar los efectos percibidos por los equipos participantes a partir de retroalimentación cualitativa; y (c) proponer un marco conceptual transferible —el Puente de Co-inteligencia— que oriente su réplica en otras organizaciones. La estrategia metodológica, de carácter cualitativo y descriptivo, se detalla en la siguiente sección.

Las manos externalizan lo que la organización sabe; los algoritmos hacen ejecutable lo que la organización decide. La co-inteligencia conecta ambos mundos.

2. Metodología

Diseño del estudio

Se adoptó un diseño de sistematización de experiencias con lógica de estudio multicaso descriptivo (Yin, 2018). Este enfoque resulta adecuado cuando el propósito no es probar una relación causal, sino documentar de forma ordenada y crítica una intervención desplegada en contextos reales, de modo que otros profesionales puedan comprenderla, valorarla y replicarla. La unidad de análisis fue el taller (workshop): cada sesión facilitada con un equipo directivo u operativo constituyó un caso, con sus entregables y su retroalimentación asociada.

Ámbito y participantes

La intervención se desplegó en más de 50 talleres realizados con equipos directivos y operativos de 32 organizaciones de los sectores Educación, Alimentos, Hidrocarburos, Minería, Consultoría, Construcción, Farmacéutica, Automotriz y Financiera, durante el periodo de julio de 2025 a julio de 2026 con la participación aproximada de 300 personas. Se incluyeron los talleres que cumplieran tres criterios: (a) haber sido diseñados con el protocolo de cuatro fases descrito en el apartado 2.3; (b) tener como propósito explícito la formulación, el seguimiento o la evaluación de estrategias de SST, gestión ambiental o ambas; y (c) contar con entregables documentados y retroalimentación cualitativa posterior. Todos los talleres fueron conducidos por un facilitador certificado en la metodología LEGO® Serious Play® con formación en Algorithmic Business Thinking, lo que garantizó consistencia en la aplicación del protocolo.

Procedimiento: intervención en cuatro fases

El protocolo articula cuatro fases secuenciales e iterativas, resumidas en la Tabla 1 y desarrolladas a continuación.

Tabla 1. Protocolo de intervención en cuatro fases.

Fase	Propósito	Herramientas clave	Entregable típico
1. Construir	Externalizar conocimiento tácito y construir significado compartido sobre riesgos y aspectos ambientales	LEGO® Serious Play®: ciclos de pregunta, construcción, narración y modelo compartido	Modelo compartido del paisaje estratégico
2. Codificar	Traducir significados en componentes, reglas de decisión y criterios evaluables	Lienzo de traducción ABT; matriz ERIC; matriz impacto–viabilidad	Reglas SI–ENTONCES y portafolio priorizado
3. Gobernar	Anclar reglas e iniciativas a responsables, rutinas y derechos de decisión	Matriz de roles y cadencias; acuerdos de gobernanza	Arquitectura de gestión documentada
4. Aprender	Medir, verificar y ajustar la estrategia en ciclos de mejora continua	Indicadores y tableros de seguimiento; ciclo PHVA	Tablero de seguimiento y agenda de aprendizaje

Fase 1. Construir (modelado tangible). Mediante los ciclos característicos de LSP —pregunta, construcción individual, narración y construcción compartida—, los equipos externalizan su conocimiento tácito sobre riesgos, aspectos ambientales y prioridades. Preguntas de construcción del tipo «construya el riesgo más importante que hoy no estamos viendo» o «construya cómo se ve el éxito de nuestro sistema de gestión en tres años» permiten que emerjan significados que rara vez aparecen en una matriz documental. El resultado es un modelo compartido del paisaje estratégico: aquello que el equipo decide que importa.

Fase 2. Codificar (traducción algorítmica). Los significados construidos se trasladan a un lienzo de traducción ABT que exige tres operaciones: descomponer el desafío en componentes manejables, explicitar reglas de decisión en formato condicional (SI se cumple una condición, ENTONCES se ejecuta una respuesta definida) y acordar criterios de priorización y evaluación. Para depurar el portafolio resultante se aplicó la matriz ERIC —eliminar, reducir, incrementar, crear— (Kim y Mauborgne, 2005), complementada con una valoración de impacto y viabilidad. El resultado es una estrategia expresada en un lenguaje que tanto personas como sistemas digitales pueden ejecutar.

Fase 3. Gobernar (arquitectura de gestión). Cada regla y cada iniciativa priorizada se ancla a una arquitectura explícita de roles, rutinas y derechos de decisión: quién es responsable, con qué cadencia se revisa, quién puede modificar la regla y ante quién se rinde cuentas. Esta fase convierte los acuerdos del taller en compromisos organizacionales verificables y evita que los entregables queden huérfanos de dueño.

Fase 4. Aprender (indicadores y ciclos PHVA). Finalmente, cada elemento de la estrategia se conecta con indicadores y tableros de seguimiento, integrados en ciclos planificar-hacer-verificar-actuar (Deming, 1986), de modo que la organización pueda observar el desempeño, cuestionar las reglas

cuando la realidad las desborda y actualizar el modelo construido. El aprendizaje retroalimenta la fase de construcción, cerrando el circuito.

Instrumentos y fuentes de información

La información sistematizada provino de cinco fuentes complementarias: (a) registros fotográficos de los modelos construidos; (b) relatorías de las narrativas asociadas a cada modelo; (c) lienzos de traducción ABT y matrices de priorización diligenciados por los equipos; (d) formularios abiertos de retroalimentación aplicados al cierre de cada taller; y (e) conversatorios de seguimiento con los equipos responsables de la implementación. No se aplicaron instrumentos psicométricos ni mediciones cuantitativas de desempeño, en coherencia con el alcance descriptivo del estudio.

Análisis

Los entregables y la retroalimentación se organizaron en una matriz de categorización documental construida en hoja de cálculo, registrando para cada taller el tipo de equipo, el propósito, los entregables producidos y los comentarios recibidos. Sobre el corpus cualitativo se realizó un análisis temático siguiendo las fases propuestas por Braun y Clarke (2006): familiarización, codificación, búsqueda y revisión de temas, y definición de categorías. La triangulación entre fuentes —modelos, lienzos y retroalimentación verbal— se utilizó para dar consistencia a las categorías emergentes.

Consideraciones éticas

La participación en los talleres fue voluntaria y las personas asistentes fueron informadas del uso de los registros con fines de sistematización y divulgación profesional. Los resultados se presentan de forma agregada y anonimizada, sin identificar organizaciones ni personas. El uso de la metodología LEGO® Serious Play® se realizó conforme a los lineamientos de su guía de código abierto (Grupo LEGO, 2010).

3. Resultados y discusión de resultados

Taxonomía de entregables

El análisis documental de los talleres permitió consolidar los entregables producidos en cuatro familias consistentes, resumidas en la Tabla 2. Todos los talleres incluidos generaron al menos una hoja de ruta y un conjunto de reglas de decisión; los tableros de indicadores se consolidaron en los procesos con mayor madurez de gestión.

Tabla 2. Taxonomía de entregables producidos por los talleres.

Familia de entregable	Descripción	Función estratégica	Fase de origen
Hojas de ruta integradas	Secuencias de iniciativas de SST y gestión ambiental con hitos y responsables	Ordenar la ejecución y alinear a los equipos	Construir–Codificar
Portafolios priorizados	Conjuntos de iniciativas depurados con la matriz ERIC y la valoración impacto–viabilidad	Focalizar recursos en lo que más valor preventivo aporta	Codificar

Familia de entregable	Descripción	Función estratégica	Fase de origen
Reglas de decisión explícitas	Enunciados condicionales SI–ENTONCES con criterios y umbrales acordados	Reducir ambigüedad y habilitar la automatización	Codificar–Gobernar
Tableros de indicadores	Paneles de seguimiento periódico conectados a ciclos PHVA	Sostener el aprendizaje y la rendición de cuentas	Aprender

Las reglas de decisión merecen mención específica por ser el entregable donde la fusión de las dos metodologías se hace visible. El Cuadro 1 presenta, con fines ilustrativos, la estructura tipo de una regla de priorización tal como queda formulada al cierre de la fase de codificación.

Cuadro 1. Estructura ilustrativa de una regla de decisión producida en la fase Codificar (ejemplo genérico; los umbrales y

plazos los define cada organización).

```
ALGORITMO priorizar_hallazgo_SST_ambiental
ENTRADA: hallazgo (riesgo o aspecto ambiental), contexto normativo, recursos

SI requisito_legal = VERDADERO ENTONCES
    clasificar como “no negociable”; asignar responsable; plazo ≤ 15 días
SINO SI severidad × probabilidad ≥ umbral_alto ENTONCES
    ingresar al portafolio prioritario; aplicar matriz ERIC
SINO
    programar en ciclo PHVA trimestral; documentar criterio
FIN SI

SALIDA: decisión trazable (regla aplicada, responsable, plazo, indicador)
```

El análisis de los lienzos mostró tres atributos recurrentes en las reglas producidas: son comprensibles (cualquier integrante del equipo puede explicar por qué una acción es prioritaria), auditables (la lógica de decisión queda documentada y puede revisarse) y potencialmente automatizables (su estructura condicional permite trasladarlas a hojas de cálculo, tableros o asistentes digitales sin reinterpretación).

Marco emergente: el Puente de Co-inteligencia

La sistematización transversal de los talleres permitió consolidar el protocolo en un marco conceptual denominado Puente de Co-inteligencia (Figura 1). El marco representa la intervención como un puente entre dos orillas: el conocimiento tácito disperso en las personas y la estrategia viva integrada al sistema de gestión. Cuatro ladrillos sostienen el cruce —construir, codificar, gobernar y aprender— y un arco de realimentación devuelve el aprendizaje del ciclo PHVA a la construcción de nuevos significados. La base del puente es la co-inteligencia: la combinación deliberada de capacidades humanas (sentido, contexto, juicio) y capacidades digitales (consistencia, escala, memoria).

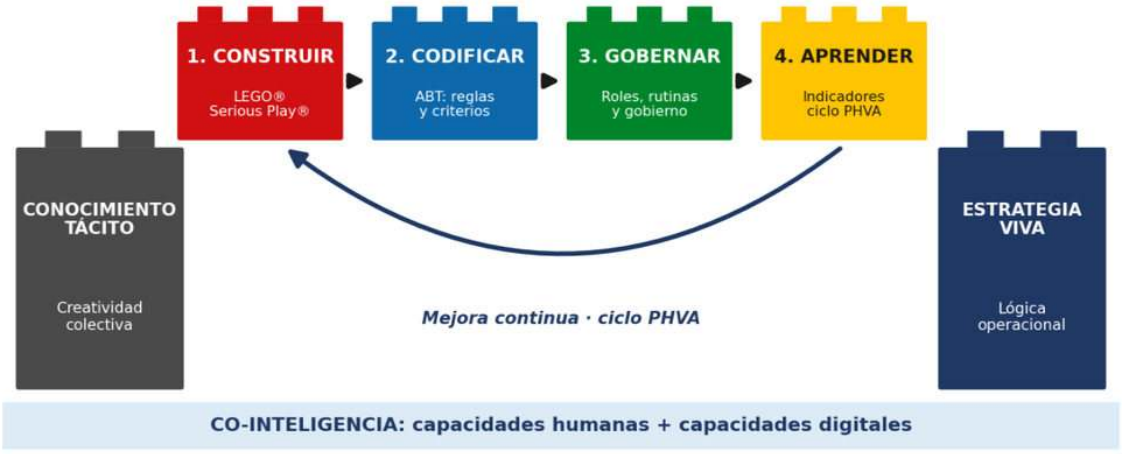


Figura 1. El Puente de Co-inteligencia: marco emergente de la sistematización (elaboración propia).

En la práctica, el marco opera como una cadena de trazabilidad que responde cinco preguntas encadenadas: qué gestionamos, cómo decidimos, qué ejecutamos, cómo lo medimos y cómo mejoramos (Figura 2). Cada eslabón corresponde a una familia de entregables de la Tabla 2, de modo que un riesgo o aspecto ambiental identificado en la fase de construcción puede seguirse —sin saltos interpretativos— hasta el indicador que monitorea su gestión y el ciclo de aprendizaje que la ajusta.



Figura 2. Cadena de trazabilidad: las cinco preguntas que conectan la construcción con la mejora continua (elaboración

propia).

Efectos percibidos por los participantes

El análisis temático de la retroalimentación cualitativa arrojó tres categorías consistentes con lo reportado en el resumen de esta contribución (Tabla 3).

Tabla 3. Categorías temáticas de la retroalimentación cualitativa.

Categoría temática	Patrón reportado por los equipos
Alineación transversal	Directivos y operativos declaran compartir una misma lectura de las prioridades; las áreas reportan menos fricción al coordinar acciones de SST y gestión ambiental.
Reducción de la ambigüedad estratégica	Los equipos manifiestan saber qué se decide, con qué criterio y quién lo decide; disminuyen las interpretaciones divergentes de la estrategia.

Categoría temática	Patrón reportado por los equipos
Trazabilidad riesgos–acciones–métricas	Los participantes reportan poder seguir un riesgo o aspecto desde su identificación hasta su indicador, y explicar por qué cada acción existe.

Estos efectos corresponden a percepciones auto-reportadas por los equipos participantes; su alcance y sus condiciones de validez se examinan en la discusión.

Discusión

El hallazgo central de esta sistematización es que la fusión LSP + ABT funciona, en la práctica, como un mecanismo de conversión de conocimiento en el sentido del modelo SECI: el modelado tangible socializa y externaliza el conocimiento tácito (Nonaka y Takeuchi, 1995), mientras que la traducción algorítmica lo combina y lo internaliza en reglas, rutinas e indicadores que la organización puede ejecutar. Lo que la literatura del construccionismo había demostrado para el aprendizaje individual y grupal (Kristiansen y Rasmussen, 2014; Papert y Harel, 1991) encuentra aquí una prolongación operacional: el modelo no termina en la mesa del taller, sino en el sistema de gestión.

Los resultados dialogan con la tradición que concibe la estrategia como práctica seria de juego (Roos et al., 2004), pero la extienden en una dirección poco explorada: la ejecución medible. Los estudios sobre LSP suelen documentar beneficios en participación, identidad compartida y calidad del diálogo; los talleres aquí sistematizados sugieren que, cuando se añade una gramática algorítmica, esos beneficios se prolongan en entregables con dueño, cadencia e indicador. La contribución no reside en cada metodología por separado —ambas cuentan con literatura propia—, sino en la interfaz explícita entre ellas.

Los efectos percibidos también son compatibles con dos conversaciones actuales de la disciplina preventiva. Primero, la reducción de ambigüedad reportada por los equipos apunta en la dirección opuesta al safety clutter: en lugar de añadir documentos, el enfoque obliga a destilar la estrategia en pocas reglas comprensibles y auditables (Rae et al., 2018). Segundo, la cadena de trazabilidad acerca el sistema documentado al trabajo tal como se realiza, en línea con la transición hacia Safety-II (Hollnagel, 2014). En clave de futuro, las reglas explícitas constituyen activos organizacionales computables: pueden incorporarse a asistentes de inteligencia artificial que preparen análisis, alerten desviaciones o simulen escenarios bajo supervisión humana, materializando la co-inteligencia (Mollick, 2024; Wing, 2006).

En términos prácticos, la experiencia sistematizada sugiere cuatro condiciones de replicabilidad: facilitación competente en LSP; alfabetización algorítmica básica del equipo (no se requiere programar, sino pensar en componentes, reglas y criterios); patrocinio directivo que legitime las decisiones del taller; y disciplina de gobernanza para sostener cadencias e indicadores. Bajo esas condiciones, el enfoque es pertinente para organizaciones que deben cumplir estándares mínimos como los de la Resolución 0312 de 2019 y, en particular, para pequeñas y medianas empresas iberoamericanas: el costo tecnológico es bajo —ladrillos, lienzos y hojas de cálculo— y el activo crítico es metodológico.

Este trabajo tiene limitaciones que conviene declarar. Se trata de una sistematización descriptiva sin grupo de control, por lo que no permite atribuciones causales; la evidencia de efectos proviene del

auto-reporte y puede estar influida por deseabilidad social; el doble rol de facilitador e investigador introduce un riesgo de sesgo de confirmación, mitigado parcialmente con la triangulación documental; la heterogeneidad de sectores y equipos limita la comparabilidad entre casos; y no se midió el vínculo con indicadores duros de siniestralidad o desempeño ambiental. Estas limitaciones delinean la agenda futura: diseños cuasi-experimentales con

mediciones pre/post, seguimientos longitudinales de la vigencia de las reglas, codificación de reglas en asistentes de inteligencia artificial y réplicas multi-país que la comunidad ORP está en posición privilegiada de articular.

4. Conclusiones

Este trabajo describió y sistematizó un enfoque que fusiona LEGO® Serious Play® y Algorithmic Business Thinking para diseñar, hacer seguimiento y evaluar estrategias integradas de SST y gestión ambiental. La evidencia documental de más de 50 talleres muestra que el enfoque produce entregables característicos —hojas de ruta integradas, portafolios priorizados, reglas de decisión explícitas y tableros de indicadores— y que los equipos perciben mayor alineación transversal, menor ambigüedad estratégica y mejor trazabilidad entre riesgos, acciones y métricas. El Puente de Co- inteligencia, marco emergente de la sistematización, ofrece a la comunidad preventiva un lenguaje transferible para replicar la experiencia.

La contribución principal es conceptual y práctica a la vez: demostrar que la creatividad colectiva y la lógica operacional no son polos opuestos, sino fases de un mismo circuito. Las manos construyen significado; los algoritmos lo vuelven ejecutable; la gobernanza lo sostiene; el aprendizaje lo renueva. Porque una estrategia que un equipo puede construir con sus manos y ejecutar con reglas explícitas es una estrategia que puede vivir.

Del ladrillo al algoritmo: cuando el significado compartido se convierte en regla explícita, la estrategia deja de habitar en los documentos y empieza a vivir en las decisiones.

Agradecimientos

El autor agradece a la Universidad de La Sabana por creer en esta iniciativa y por haber facilitado los recursos para pilotear la intervención.

A los equipos directivos y operativos de las múltiples empresas que participaron en los talleres sistematizados, cuya disposición a construir, narrar y codificar hizo posible este trabajo.

A la ARL Axa Colpatria y su aliado Nixus, con quienes se han establecido una alianza poderosa para llevar a más personas la intervención de Lego + ABT.

Bibliografía

Braun, V. y Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2),

77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Csikszentmihalyi, M. (1990). Flow: The psychology of optimal experience. Harper & Row.

Decreto 1072 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo.

Ministerio del Trabajo, República de Colombia. 26 de mayo de 2015.

Deming, W. E. (1986). Out of the crisis. MIT Press.

Edmondson, A. (1999). Psychological safety and learning behavior in work teams. Administrative Science

Quarterly, 44(2), 350–383. https://doi.org/10.2307/2666999

Grupo LEGO. (2010). Open-source introduction to LEGO® Serious Play®. LEGO Group.

Hollnagel, E. (2014). Safety-I and Safety-II: The past and future of safety management. Ashgate.

Kim, W. C. y Mauborgne, R. (2005). Blue ocean strategy: How to create uncontested market space and make

the competition irrelevant. Harvard Business School Press.

Kristiansen, P. y Rasmussen, R. (2014). Building a better business using the LEGO Serious Play method. Wiley.

MIT Sloan Executive Education. (s.f.). Algorithmic Business Thinking: Sprint.

https://executive.mit.edu/course/algorithmic-business-thinking-sprint/a054v00000rgCvtAAE.html

Mollick, E. (2024). Co-intelligence: Living and working with AI. Portfolio/Penguin.

Nonaka, I. y Takeuchi, H. (1995). The knowledge-creating company: How Japanese companies create the

dynamics of innovation. Oxford University Press.

Organización Internacional de Normalización. (2015). ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental —

Requisitos con orientación para su uso. ISO.

Organización Internacional de Normalización. (2018). ISO 45001:2018. Sistemas de gestión de la seguridad y

salud en el trabajo — Requisitos con orientación para su uso. ISO.

Organización Internacional del Trabajo. (2023). A call for safer and healthier working environments. OIT.

Papert, S. y Harel, I. (1991). Situating constructionism. En I. Harel y S. Papert (Eds.), Constructionism (pp. 1–11).

Ablex Publishing.

Rae, A. J., Provan, D. J., Weber, D. E. y Dekker, S. W. A. (2018). Safety clutter: The accumulation and

persistence of 'safety' work that does not contribute to operational safety. Policy and Practice in Health and Safety, 16(2), 194–211. https://doi.org/10.1080/14773996.2018.1491147

Resolución 0312 de 2019. Por la cual se definen los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de la

Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST. Ministerio del Trabajo, República de Colombia. 13 de febrero de 2019.

Roos, J., Victor, B. y Statler, M. (2004). Playing seriously with strategy. Long Range Planning, 37(6), 549–568.

https://doi.org/10.1016/j.lrp.2004.09.005

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. Communications of the ACM, 49(3), 33–35.

https://doi.org/10.1145/1118178.1118215

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6.ª ed.). Sage.

Impacto de una estrategia escalonada de transformación cultural en Seguridad y Salud en el Trabajo sobre los indicadores de resultado y la percepción de los colaboradores en Refinería de Cartagena S.A.S.

Refinería de Cartagena S.A.S., Grupo Ecopetrol

Departamento de Operaciones · Cartagena de Indias, Colombia

Abstract

Antecedentes: en 2018 un diagnóstico de cultura de seguridad realizado por la firma DuPont ubicó a Refinería de Cartagena S.A.S. (Grupo Ecopetrol) en un nivel de madurez Reactivo, caracterizado por una gestión de la seguridad centrada en el cumplimiento normativo y en la respuesta a incidentes, con una participación limitada de los trabajadores en el control preventivo del riesgo.

Objetivo: evaluar el impacto de una estrategia escalonada de transformación cultural en seguridad y salud en el trabajo (SST), implementada entre 2019 y 2026 a través de los programas de Liderazgo Visible en Seguridad, Cuidado Activo y el modelo CRAC (Conciencia, Responsabilidad, Acción y Cultura), sobre los indicadores de resultado en seguridad y la percepción de los colaboradores.

Método: estudio observacional de tipo antes–después, de alcance descriptivo, que analiza la evolución de indicadores reactivos y proactivos de seguridad (eventos ocupacionales, TRIF de trabajadores directos y de contratistas, fatalidades) y de percepción organizacional, en el marco de un modelo de gobierno corporativo en SST estructurado en mesas de trabajo temáticas.

Resultados: entre 2012 y 2025 los eventos ocupacionales globales se redujeron un 96,5% (de 15 a 2 casos); el TRIF de contratistas disminuyó 63,5% entre 2017 y 2025, alcanzando un histórico de 0,00 en el último año; el TRIF global 2025 se ubicó en 0,39 frente a un límite interno de 0,62; y el 90% de los colaboradores reconoció el aporte de la estrategia al fortalecimiento de la cultura de seguridad. La organización acumula más de 14 años sin fatalidades y 8 años con un TRIF de directos de 0,00.

Conclusión: la combinación de liderazgo visible, gobierno corporativo descentralizado y programas de conciencia de factores humanos (Cuidado Activo/CRAC) se asocia con una evolución sostenida de la cultura de seguridad hacia niveles Independiente–Interdependiente de la curva de Bradley, y con mejoras consistentes en los indicadores de resultado.

Palabras Clave

Cultura de seguridad; liderazgo visible en seguridad; seguridad basada en el comportamiento; curva de Bradley; factores humanos; industria energética, TRIF. cultura de seguridad; liderazgo visible; seguridad basada en el comportamiento; curva de Bradley; factores humanos; industria energética, TRIF.

1. Introducción

Refinería de Cartagena S.A.S. (Grupo Ecopetrol) es reconocida por liderar un modelo de transformación cultural en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), que ha permitido evolucionar la gestión tradicional de la seguridad hacia una cultura preventiva de alto desempeño, en la que el liderazgo, los factores humanos, la toma de decisiones seguras y el compromiso con la vida se han consolidado como pilares estratégicos de la organización.

Los modelos de madurez de cultura de seguridad, entre los que se destaca la curva de Bradley desarrollada por DuPont (DuPont, 2009), han sido ampliamente utilizados por la industria para describir la evolución de las organizaciones desde una fase Reactiva —en la que la seguridad se gestiona por instinto natural o por cumplimiento normativo— hasta una fase Interdependiente, en la que el cuidado mutuo y la responsabilidad compartida sustituyen la supervisión externa como principal motor del comportamiento seguro (Fleming, 2001; Ayob et al., 2022). Estudios recientes confirman que este tipo de modelos continúa siendo la referencia dominante en sectores de alto riesgo, entre ellos el de hidrocarburos, aunque coinciden en advertir que el avance de una etapa a otra no es automático ni lineal, sino que depende de la persistencia de las intervenciones y del compromiso sostenido del liderazgo (Curti et al., 2025).

En paralelo, la literatura sobre liderazgo y seguridad basada en el comportamiento documenta que el compromiso y la presencia activa de los mandos directivos en el terreno se relacionan consistentemente con un mejor desempeño en los indicadores de seguridad (Ismail et al., 2012). Estos hallazgos son coherentes con la orientación estratégica de Refinería de Cartagena, que desde 2019 ha priorizado el desarrollo de competencias de Liderazgo Visible en Seguridad (LVS) en sus mandos tácticos y estratégicos.

A pesar de la amplia adopción práctica de estos modelos en la industria, la evidencia documentada sobre su efectividad en organizaciones latinoamericanas del sector de hidrocarburos continúa siendo limitada. Esta laguna de conocimiento constituye la motivación central del presente trabajo: documentar, con datos de una operación real, cómo la implementación sostenida y escalonada de una estrategia de transformación cultural se traduce en resultados observables de seguridad y en la percepción de los colaboradores.

El proceso de transformación de Refinería de Cartagena S.A.S. inició con la creación y el posicionamiento de la identidad del Sistema de Gestión de SST “Primero la Vida”, concebida como una plataforma cultural para fortalecer el compromiso organizacional con la protección de las personas y consolidar la seguridad como un valor corporativo. Como parte de su evolución, la organización implementó posteriormente Cuidado Activo, una estrategia orientada a fortalecer la conciencia del riesgo, la corresponsabilidad y la toma de decisiones seguras mediante la integración de factores humanos, liderazgo visible, aprendizaje experiencial, ciencias del comportamiento y comunicación estratégica. En 2026, esta evolución dio paso al modelo CRAC (Conciencia, Responsabilidad, Acción y Cultura), que consolida una visión integral y dinámica de la gestión de la seguridad, alineada con las mejores prácticas internacionales en cultura de seguridad, comportamiento organizacional y excelencia operacional.

Los resultados alcanzados evidencian el impacto de esta visión: la organización acumula más de 14 años sin fatalidades de trabajadores directos ni de contratistas, y registró ocho años consecutivos (2018 y 2025) sin accidentes de trabajadores directos. La estrategia ha alcanzado niveles de satisfacción superiores al 90%, donde los colaboradores reconocen su aporte al fortalecimiento de la cultura de seguridad y a la madurez organizacional. Asimismo, la organización ha logrado descentralizar la gestión de la seguridad mediante la implementación de un modelo de gobierno corporativo en SST, fortaleciendo el liderazgo, la corresponsabilidad y la apropiación de la gestión del riesgo en todos los niveles. Este compromiso sostenido con la protección de la vida fue reconocido en abril de 2026 con la distinción “Liderazgo y

Compromiso Primero la Vida", que consolida a Refinería de Cartagena S.A.S. como un referente nacional y un caso de éxito en la construcción de culturas de seguridad de talla mundial.

El presente artículo tiene como objetivo describir el diseño y la implementación de esta estrategia escalonada de transformación cultural en SST entre 2018 y 2026, y analizar su relación con la evolución de los indicadores de resultado en seguridad y con la percepción de los colaboradores respecto de la madurez cultural alcanzada.

2. Metodología

Diseño del estudio

Se trata de un estudio observacional descriptivo, de tipo antes–después, desarrollado en el marco de una intervención organizacional de gestión del cambio cultural en seguridad y salud en el trabajo, ejecutada entre los años 2019 y 2026. El diseño no corresponde a un ensayo controlado ni incorpora un grupo de comparación externo; su propósito es documentar la evolución de los indicadores de seguridad y de percepción organizacional a lo largo de una intervención escalonada y sostenida en el tiempo.

Ámbito y población

El estudio se desarrolló en Refinería de Cartagena S.A.S. (Grupo Ecopetrol), instalación industrial de producción de combustibles de alta calidad y con el menor impacto ambiental, consolidada como uno de los complejos más modernos de Latinoamérica, ubicada en Mamonal, la principal zona industrial de Cartagena de Indias D. T y C., y una de las más importantes de Colombia. La población objeto de la intervención correspondió a la totalidad del personal directo de la compañía y a los trabajadores de empresas contratistas ("aliados"), en las sedes de Cartagena y Bogotá.

Fases de la intervención

La estrategia se desplegó de forma escalonada en tres grandes fases, según se ilustra en la Figura 1:

Fase 1 — Cimentación del liderazgo (2018-2022). Formación de los mandos tácticos y estratégicos en cinco habilidades y competencias de Liderazgo Visible en Seguridad (LVS): ser ejemplo, saber observar, saber escuchar, saber comunicar y actitud en seguridad. La formación se complementó con acompañamiento en terreno tipo coaching (90% terreno / 10% aula), un esquema formal de rendición de cuentas con las gerencias de cada departamento y la implementación de un programa de cultura basado en la intervención del comportamiento.

Fase 2 — Expansión y gobierno (2023-2025). Fortalecimiento del plan de comunicaciones estratégicas en SST bajo la identidad "Cuidado por la Vida", refuerzo de la identidad corporativa en seguridad (personaje "Don Refino", Reglas que Salvan Vidas) y definición e implementación de la estrategia "Cuidado Activo". En paralelo se conformó el modelo de gobierno corporativo en SST, estructurado en una Mesa Comité SST y cuatro mesas de trabajo temáticas.

Fase 3 — Consolidación (2026-2027). Evolución hacia el modelo CRAC (Conciencia, Responsabilidad, Acción y Cultura), que traslada el aprendizaje acumulado en 2025 a rutinas observables de campo, y extensión del alcance del cuidado hacia el entorno familiar de los trabajadores ("Cuidado Activo a Nuestro Hogar").

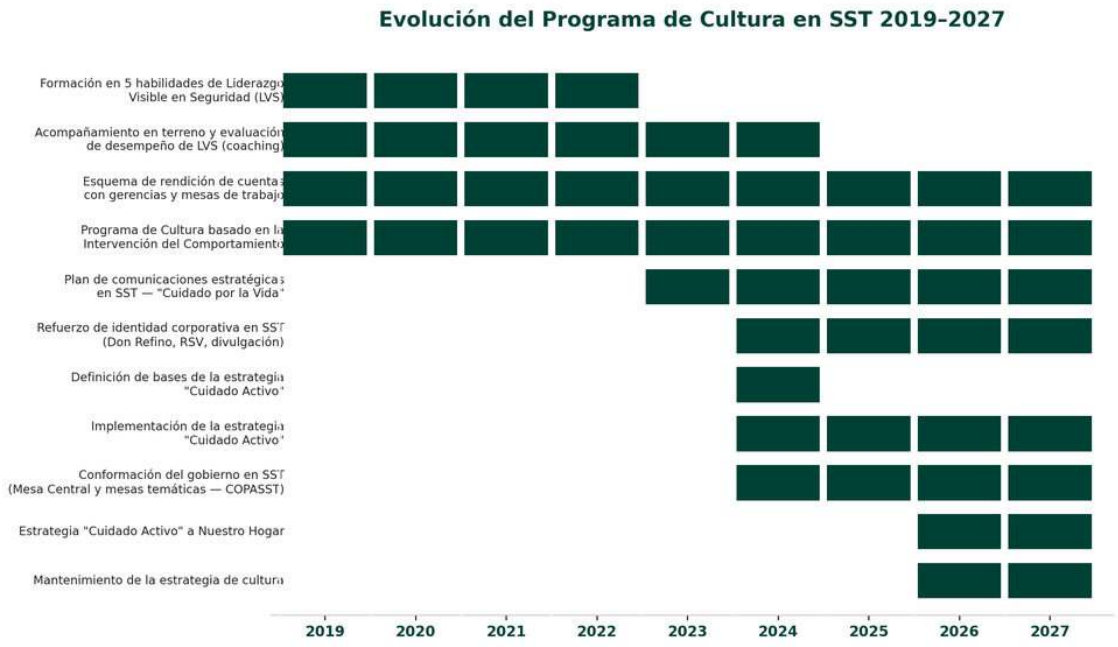


Figura 1. Evolución del Programa de Cultura en SST 2019–2027. Elaboración propia a partir de la hoja de ruta institucional de Refinería de Cartagena S.A.S.

Liderazgo Visible SST

Como componente estratégico para la implementación de la transformación de la cultura en Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) de Refinería de Cartagena S.A.S., se desarrolló un proceso de fortalecimiento de liderazgo visible dirigido a los niveles táctico y estratégico de la organización. La estrategia metodológica se fundamentó en tutorías tipo coaching, mediante las cuales participaron directores, gerentes, vicepresidentes y la presidencia de la compañía, con el propósito de desarrollar cinco competencias esenciales del liderazgo visible en SST: ser ejemplo, saber observar, saber escuchar, saber comunicar y demostrar una actitud proactiva frente a la seguridad.

La intervención se ejecutó bajo un enfoque eminentemente práctico, con un 90% de las actividades realizadas en campo y un 10% en aula, privilegiando la interacción directa de los líderes con sus equipos de trabajo como mecanismo para fortalecer su capacidad de influencia y promover comportamientos seguros. El proceso incluyó sesiones de acompañamiento individual, ejercicios de autoevaluación y seguimiento sistemático al desempeño de cada participante. Como resultado, la totalidad de los líderes alcanzó un nivel de desarrollo superior al 90% en las competencias definidas, evidenciando un fortalecimiento significativo del liderazgo visible como elemento facilitador de la transformación cultural en SST.

Estructura de gobierno en SST

Para sostener la estrategia se implementó un modelo de gobierno corporativo compuesto por cinco niveles de responsabilidad: el Comité SST (que define y aprueba políticas, respalda proyectos de mejora y gestiona el presupuesto), las mesas de trabajo (equipos interdisciplinarios liderados por un líder estratégico, uno táctico y uno operativo, que desarrollan proyectos de mejora), los dueños de proceso (que validan estándares, lideran investigaciones y realizan el cierre de brechas), el equipo de SST (que asesora técnicamente a las mesas de trabajo) y los colaboradores (que materializan las mejoras en el terreno).

Se conformaron cuatro mesas de trabajo temáticas: Investigación y Análisis de Incidentes (IAI), Liderazgo y Comportamiento (LC), Condiciones y Gerenciamiento de Acciones (CGA) y Plan

Anual de Aprendizaje en SST (PAA), cada una con un patrocinador de nivel estratégico y un asesor interno de SST. La Mesa Comité SST —instancia articulada con el Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo (COPASST)— sesiona mensualmente, y las mesas de trabajo lo hacen con una frecuencia mensual o quincenal, bajo una metodología de reunión estructurada que combina un momento de seguridad, la presentación de indicadores de desempeño, el seguimiento a los proyectos de las mesas de trabajo y el análisis de costos asociados a la gestión de SST.

Metodología del programa "Cuidado Activo" (2024-2025)

Cuidado Activo es una estrategia diseñada para fortalecer la conciencia de seguridad de los trabajadores, ayudándolos a reconocer los factores personales que pueden derivar en fallas humanas y, en consecuencia, incrementar la probabilidad de un accidente. El modelo distingue seis factores de las personas —entre ellos la disminución del estado de alerta o baja percepción del riesgo, los pensamientos intrusivos durante el desarrollo de la tarea, la pérdida de agarre, equilibrio o tracción, y la exposición a líneas de fuego— que pueden contribuir a cuatro fallas humanas, así como tres tipos de comportamiento de riesgo: consciente o deliberado, habitual o en piloto automático, y no intencional o por error.

La implementación se organizó en tres etapas: (1) formación tipo taller en los estados y errores humanos, dirigida al 100% de la población, con apoyo del personaje corporativo "Don Refino" y un cronograma temático mensual (rapidez o trabajar a una velocidad inadecuada, sobrecarga emocional, cansancio o fatiga, complacencia o permisibilidad, falta de conocimiento o habilidad, y capacidad o tensión física); (2) despliegue de "embajadores del Cuidado Activo", con el autorregistro de observaciones en herramienta informática—con una meta de dos reportes por trabajador al mes— y acompañamiento en campo; y (3) seguimiento y análisis del consolidado de reportes por parte de la mesa de Liderazgo y Comportamiento, con generación de alertas de seguridad mensuales.

Metodología del modelo CRAC (2026)

En 2026 la estrategia evolucionó hacia el modelo CRAC, que traduce el aprendizaje acumulado en 2025 en hábitos observables de campo mediante cuatro componentes: Conciencia (identificación de riesgos y energías presentes, apoyada en el triángulo persona–objeto–energía), Responsabilidad (priorizar la vida sobre la presión operacional, habilitando pausas preventivas en tareas críticas), Acción (micro-intervenciones de 60 a 120 segundos en los denominados "momentos de alta influencia": arranques, permisos, cambios de herramienta o tarea, primeras veces y cierres) y Cultura (mensajes breves de liderazgo de 45 segundos, reconocimiento y corrección respetuosa).

La formación combina sesiones presenciales de aprendizaje experiencial (estaciones, retos, role play y casos reales de la operación) con seguimiento en campo mediante cinco indicadores simples: número de micro-intervenciones por líder a la semana, porcentaje de uso del mensaje CRAC en arranques y reuniones, porcentaje de observaciones realizadas con enfoque energía–control, número de decisiones preventivas (ajustes o pausas) y proporción de hallazgos cerrados frente a los recibidos. La estrategia se complementa con refuerzo audiovisual por canales internos y una cartilla anual de Cuidado Activo utilizada en procesos de inducción y refresco de competencias.

Variables e indicadores

Se analizaron indicadores reactivos (eventos ocupacionales, tasa de incidentes registrables TRIF de trabajadores directos y de contratistas, fatalidades) e indicadores proactivos (percepción organizacional de la estrategia, cobertura de formación, reportes de Cuidado Activo y micro-intervenciones CRAC). Como línea base se utilizó el diagnóstico de cultura de seguridad realizado en 2018 por la firma consultora DuPont (nivel de madurez Reactivo) y el diagnóstico de liderazgo visible realizado en 2019 mediante un instrumento aplicado por un prestador de la Aseguradora de Riesgos Laborales (ARL), en una escala de 0 a 10 (Básico 0-4, Intermedio 4,1-6, Transición 6,1-8 y Avanzado 8,1-10), que arrojó un resultado de 7 puntos (nivel de Transición).

Análisis de la información

El análisis correspondió a estadística descriptiva: cálculo de variaciones porcentuales interanuales, comparación de series históricas (2012-2025 para eventos ocupacionales; 2017-2025 para el TRIF de contratistas) y contraste del resultado obtenido frente a la meta o límite interno establecido para el TRIF global de 2025. Para interpretar la evolución cultural de la organización se utilizó como marco de referencia la curva de Bradley (DuPont, 2009; Fleming, 2001), que describe cuatro niveles de madurez de la cultura de seguridad: Reactivo, Dependiente, Independiente e Interdependiente.

Consideraciones éticas

La información analizada corresponde a registros institucionales agregados de seguridad y salud en el trabajo, sin datos que permitan la identificación individual de los trabajadores. El manejo de la información se enmarca en el Sistema de Gestión de SST de la compañía, alineado con el Decreto 1072 de 2015 del Ministerio del Trabajo de Colombia y con los requisitos de la norma ISO 45001:2018 (International Organization for Standardization, 2018).

3. Resultados y discusión de resultados

La Figura 1 resume la hoja de ruta de implementación de la estrategia de transformación cultural entre 2018 y 2027, evidenciando la superposición progresiva de iniciativas: mientras las intervenciones de formación en liderazgo (2018-2022) sientan las bases, la rendición de cuentas y el programa de intervención del comportamiento se sostienen de forma continua durante todo el periodo, y la gobernanza en SST y el modelo Cuidado Activo/CRAC ganan protagonismo a partir de 2023.

Como resultado de este proceso, la organización avanzó de un nivel de madurez cultural Reactivo —identificado en el diagnóstico DuPont de 2018— hacia una posición más cercana al nivel Interdependiente de la curva de Bradley (Figura 2), impulsada por la descentralización de la gestión de la seguridad a través del gobierno corporativo en SST y por el fortalecimiento sostenido del liderazgo visible.

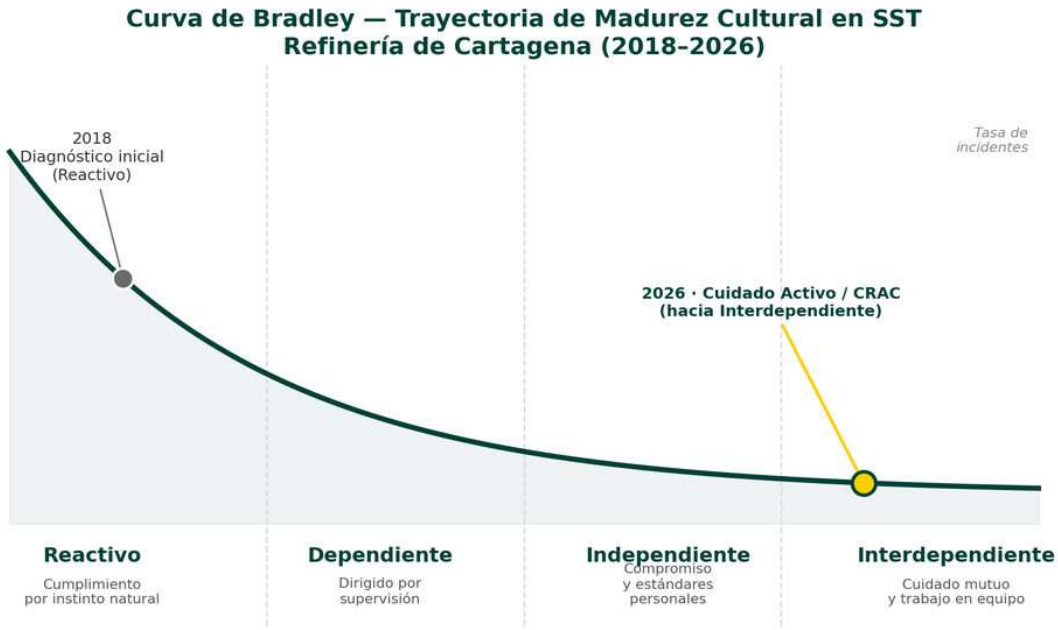


Figura 2. Curva de Bradley: trayectoria de madurez cultural en SST de Refinería de Cartagena (2018–2026). Adaptado del modelo de DuPont (DuPont, 2009; Fleming, 2001).

Análisis de tendencias y desempeño histórico

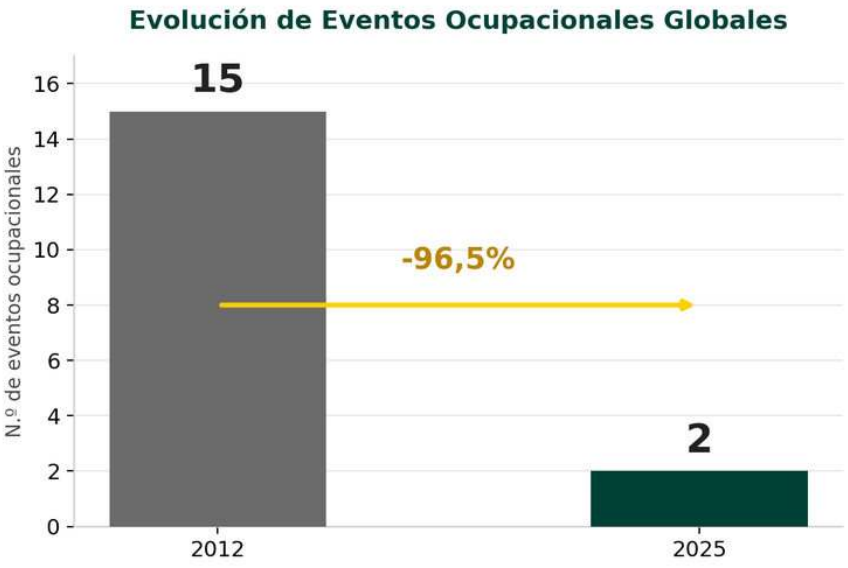
Eventos ocupacionales globales: entre 2012 y 2025 se registró una disminución del 96,5% en los eventos ocupacionales, al pasar de 15 casos en 2012 a 2 casos en 2025, con una tendencia estable en los últimos tres años (entre 2 y 3 incidentes anuales).

Fatalidades: cero fatalidades registradas. La organización acumula más de 14 años sin pérdidas de vida de trabajadores, tanto de personal directo como de contratistas.

Desempeño de aliados (contratistas): el TRIF de contratistas se redujo un 63,5% entre 2017 y 2025, alcanzando en este último año un resultado histórico de 0,00.

Accidentalidad de trabajadores directos: se evidenció una tendencia sostenida a la disminución desde 2018, con ocho años consecutivos totalmente sin incidentes.

Percepción de los colaboradores: en la encuesta de percepción aplicada, el 90% de los colaboradores directos reconoció el aporte de las estrategias de transformación cultural al fortalecimiento de la cultura de seguridad y a la madurez organizacional de la compañía.



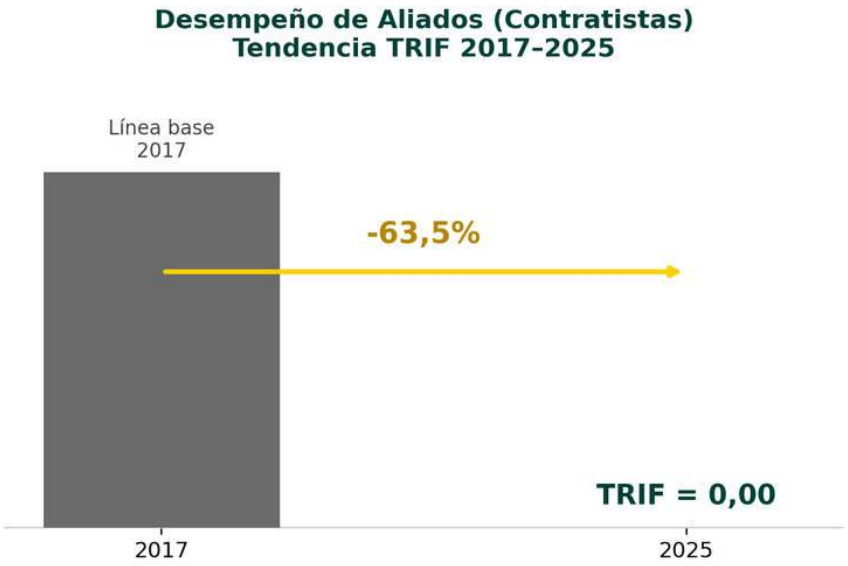


Figura 3. Evolución de eventos ocupacionales globales 2012–2025. Figura 4. Desempeño de aliados (contratistas): tendencia TRIF 2017–2025.

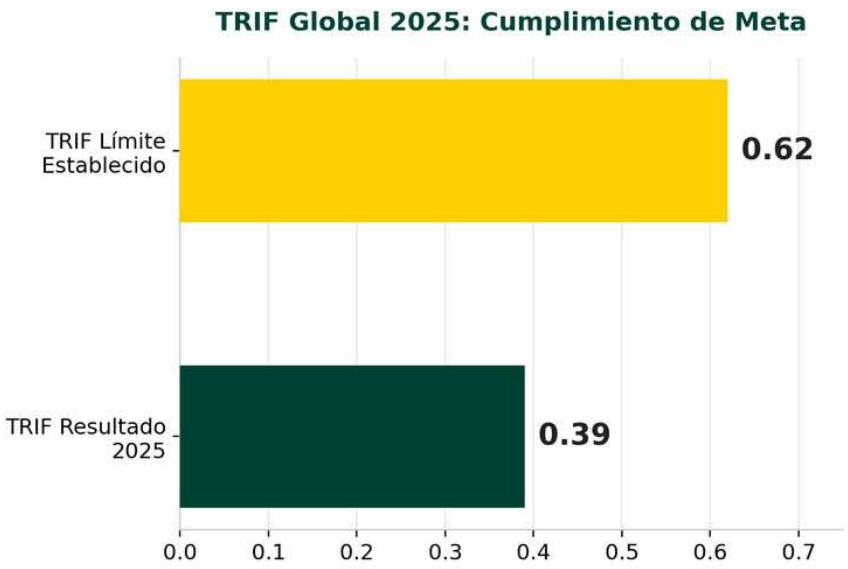




Figura 5. TRIF global 2025: resultado (0,39) frente al límite interno establecido (0,62). Figura 6. Percepción positiva de los colaboradores sobre el aporte de la estrategia.

El resultado global de TRIF 2025 se ubicó en 0,39, por debajo del límite interno establecido de 0,62 (Figura 5). Este conjunto de resultados es consistente con el reconocimiento externo recibido por la organización en abril y junio de 2026, “Liderazgo y Compromiso Primero la Vida” e “Innovación y Futuros en SST, apalancado con la estrategia de transformación cultural”, que valida el modelo de transformación cultural como caso de referencia en el sector.

Discusión

Los resultados observados en Refinería de Cartagena S.A.S. son consistentes con la lógica descrita por los modelos de madurez de cultura de seguridad, en particular la curva de Bradley (DuPont, 2009; Fleming, 2001), que plantea que la reducción sostenida de la tasa de incidentes acompaña el tránsito de las organizaciones desde una fase Reactiva —en la que la seguridad se gestiona por instinto o por cumplimiento normativo— hacia una fase Interdependiente, en la que el cuidado mutuo y la responsabilidad compartida sustituyen la supervisión externa como principal motor del comportamiento seguro. La disminución del 96,5% en los eventos ocupacionales entre 2012 y 2025, junto con la reducción del TRIF de contratistas y la ausencia de fatalidades durante más de 14 años, es coherente con la trayectoria esperada según este marco conceptual. No obstante, como advierten Ayob et al. (2022) y Curti et al. (2025) en sus revisiones sistemáticas sobre modelos de madurez de cultura de seguridad, la evidencia empírica que sustenta estos modelos continúa siendo, en su mayoría, de tipo descriptivo y no experimental; por ello, los resultados aquí presentados deben interpretarse como una evolución asociada a la intervención y no como una relación causal demostrada mediante diseño experimental.

El fortalecimiento del liderazgo visible en seguridad (LVS) como eje inicial de la estrategia coincide con hallazgos previos en el sector de hidrocarburos, donde el compromiso y la presencia activa de los mandos en el terreno se han asociado consistentemente con un mejor desempeño en los indicadores de seguridad (Ismail et al., 2012). La revisión de Curti et al. (2025) identifica precisamente el compromiso del liderazgo, la comunicación en seguridad, la formación, la participación de los trabajadores y la gestión del riesgo como los elementos más utilizados en la literatura reciente para evaluar la madurez de la cultura de seguridad, lo cual es consistente con los componentes trabajados por Refinería de Cartagena S.A.S. desde 2019: formación en LVS, coaching en terreno, rendición de cuentas, intervención del comportamiento y comunicación estratégica.

La evolución de Cuidado Activo hacia el modelo CRAC en 2026 puede interpretarse, en términos de la literatura de seguridad basada en el comportamiento, como un tránsito desde la sensibilización sobre factores humanos hacia la instalación de rutinas observables en campo, en línea con el planteamiento de Reason (1997) sobre la necesidad de intervenir tanto en las condiciones latentes del sistema como en los errores activos de las personas. La incorporación del triángulo persona–objeto–energía y de las micro-intervenciones en “momentos de alta influencia” refuerza el tránsito de un enfoque reactivo de investigación de incidentes hacia uno proactivo de identificación de controles antes de que ocurra el evento.

Entre las limitaciones del presente trabajo se encuentra su carácter descriptivo y de reporte de experiencia, sin grupo de comparación externo ni pruebas de significancia estadística, por lo que no es posible atribuir de forma aislada la mejora de los indicadores a un componente específico de la estrategia. Asimismo, los indicadores reactivos analizados (TRIF, eventos ocupacionales, fatalidades) están sujetos a la variabilidad propia de eventos de baja frecuencia, por lo que su interpretación debe complementarse con el seguimiento de los indicadores proactivos incorporados en el modelo CRAC. Futuros trabajos podrían profundizar en el análisis diferencial por gerencia o área operativa, e incorporar instrumentos de medición validados de percepción de cultura de seguridad que permitan comparaciones más robustas en el tiempo.

En conjunto, la experiencia de Refinería de Cartagena S.A.S. aporta evidencia aplicada, desde un contexto latinoamericano de la industria de hidrocarburos, sobre cómo la combinación de liderazgo visible, gobierno corporativo descentralizado y programas de conciencia de factores humanos puede traducirse en mejoras sostenidas de los indicadores de seguridad, en un sector y una región donde este tipo de evidencia documentada continúa siendo escasa.

4. Conclusiones

La implementación escalonada de la estrategia de transformación cultural en SST —desde el fortalecimiento del liderazgo visible en 2019 hasta la consolidación del modelo Cuidado Activo/CRAC en 2026— permitió a Refinería de Cartagena S.A.S. avanzar de un nivel de madurez cultural Reactivo hacia una posición cercana a la Interdependiente en la curva de Bradley, evidenciada en la reducción sostenida de los eventos ocupacionales, cumplimiento de la meta global de TRIF establecida para 2025 (0,39 frente a un límite de 0,62), la ausencia de fatalidades durante más de 14 años y de eventos de personal directo a lo largo de 8 años y una percepción positiva de la estrategia por parte del 90% de los colaboradores.

A partir de estos hallazgos, la organización definió un plan de metas estratégicas orientado a sostener y profundizar los resultados alcanzados:

Corto plazo (0 a 2 años)

Avanzar en la segunda fase de la estrategia “Cuidado Activo”.

Reducir la frecuencia de incidentes, promoviendo la disciplina y el rigor en el cumplimiento de procedimientos y prácticas seguras.

Continuar desarrollando la hoja de ruta del asunto material en salud ocupacional, incluida la medición de la línea base de madurez y cobertura, conforme a los lineamientos de IPIECA.

Largo plazo (3 años o más)

Fortalecer la cultura de cuidado y avanzar con determinación hacia un nivel de cultura Proactiva, en el que el principio “Primero la Vida” sea la base de todas las decisiones de la organización, fomentando la colaboración y el liderazgo compartido, de modo que los equipos no se limiten a cumplir, sino que influencien y apoyen activamente el comportamiento seguro entre sus compañeros.

Lograr el nivel 3 de madurez y cobertura de las líneas de impacto en salud ocupacional, de acuerdo con lo establecido en la hoja de ruta del asunto material del Grupo Ecopetrol.

Esta experiencia constituye un aporte relevante para la comunidad de prevención de riesgos laborales del sector hidrocarburos, al documentar, con datos de una operación real en el contexto latinoamericano, cómo una estrategia sostenida de transformación cultural puede traducirse en mejoras medibles de los indicadores de resultado y en la percepción de los colaboradores, más allá de las intervenciones puntuales de corto plazo.

Bibliografía

Modelo de Clima y Cultura en Seguridad y Salud en el trabajo de ARL SURA (2025)

Bye, R. J., Aalberg, A. L., & Røyrvik, J. O. D. (2020). What we talk about when we talk about HSE and culture – A mapping and analysis of the academic discourses. Safety Science, 129

Edwards, J. R. D., Davey, J., & Armstrong, K. (2013). Returning to the roots of culture: A review and re-conceptualisation of safety culture. Safety Science, 55, 70–80

Ayob, A. N., Che Hassan, C. R., & Hamid, M. D. (2022). Safety culture maturity measurement methods: A systematic literature review. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 80, Artículo 104910. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104910

Curti, S., Gallo, M., Nocilla, M. R., Montagnani, A., Mattioli, S., Gnoni, M. G., & De Merich, D. (2025). Safety culture maturity models in occupational safety and health: An updated scoping review. Safety Science, 192, Artículo 107003. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2025.107003

DuPont. (2009). Overview of DuPont's safety model and sustainability initiatives. DOE and DuPont Safety Initiative.

Fleming, M. (2001). Safety culture maturity model (Offshore Technology Report 2000/049). Health and Safety Executive.

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

IPIECA & IOGP. (2019). Health management in the oil and gas industry (Reporte 343, 3.ª ed.). IPIECA-IOGP.

Ministerio del Trabajo de Colombia. (2015). Decreto 1072 de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Diario Oficial.

Programa para la prevención de la fatiga en el personal de la salud, Hospital Medellín

Alvaro Londoño Cuartas; Norbey Alvarez Correa

Hospital San Vicente Fundación Medellín

alvaro.londono@sanvicentefundacion.com · norbey.alvarez@sanvicentefundacion.com

Abstract

La fatiga del personal de salud constituye un riesgo para la seguridad del paciente y para el bienestar de los trabajadores. El Hospital San Vicente Fundación Medellín presenta un programa orientado a prevenir, reducir y detectar tempranamente el cansancio y la fatiga mediante la gestión de turnos y descansos, la educación, el autocuidado, el apoyo psicosocial y la vigilancia de la salud. La propuesta articula políticas de trabajo suplementario, programación automatizada de turnos y actividades de seguimiento. Se plantean fases de implementación e indicadores para valorar la continuidad del programa. El enfoque integra la organización del trabajo y la prevención de riesgos psicosociales como componentes de la seguridad hospitalaria.

Palabras Clave

Fatiga laboral; personal de salud; trabajo por turnos; seguridad del paciente; riesgos psicosociales.

1. Introducción

El Hospital San Vicente Fundación Medellín fue fundado el 16 de mayo de 1913 por el empresario Alejandro Echavarría Isaza. Nació de la filantropía tras una tragedia familiar, con la promesa de crear un recinto "grande y para todos". Hoy es un referente nacional en alta complejidad, docencia e investigación médica. Es una institución privada sin ánimo de lucro que presta servicios de salud con énfasis en la atención del paciente de alta complejidad. Es el centro hospitalario y docente más importante del Departamento de Antioquia y una de las instituciones de salud más grandes e importantes de Colombia y de Latinoamérica. Debido a su alta demanda, opera con una ocupación que suele superar su capacidad operativa básica.

Cuenta con los siguientes servicios principales:

Unidades Funcionales: Atención integral en Trauma, Cirugía, Osteomuscular, Enfermedades Crónicas, Oncología, Neurociencias, Enfermedades Digestivas, Cardiopulmonar, Vascular e Infantil.

Unidades de Cuidados Intensivos (UCI): Dispone de más de 100 camas divididas entre cuidados intensivos e intermedios para adultos, pediátricos y neonatales.

Unidad de Quemados: Capacidad especializada certificada internacionalmente (ISBI), con áreas independientes para adultos y niños.

Talento Humano y Nivel Académico

Especialidades: Soporte en más de 70 subespecialidades médicas.

Hospital Universitario: Es reconocido como hospital base para especializaciones médicas y cuenta con alianzas estratégicas para la formación de talento humano en salud.

Para abordar el tema de la fatiga en el trabajador de la salud debemos partir por la definición del término. La definición más ampliamente aceptada de fatiga considera que la fatiga es el cansancio o hastío. Es la molestia ocasionada por un esfuerzo más o menos prolongado o por otras causas que excede la capacidad del individuo y que en ocasiones produce alteraciones físicas, mentales o sensoriales. Así las cosas, fatiga es sinónimo de cansancio.

JUSTIFICACIÓN

La calidad y seguridad de los servicios de salud dependen fundamentalmente del factor humano. El personal de salud es un actor clave en la gestión de los riesgos clínicos y laborales, por lo que su bienestar es esencial para lograr resultados clínicos óptimos y crear un ambiente de trabajo seguro.

Particularidades del trabajo en salud

El trabajo en el sector de la salud, especialmente en un hospital de alta complejidad, presenta desafíos únicos. La prestación de servicios médicos requiere una presencia constante, a menudo con jornadas laborales que se extienden más allá de lo programado. A esto se suman las limitaciones del sector salud para cubrir ausencias (por vacaciones, incapacidades o licencias) y la creciente demanda de servicios.

En este contexto, la organización de los turnos es crítica. Aunque el trabajo por turnos es común, es un factor reconocido que afecta la salud de los trabajadores y su vida personal. En nuestro hospital, el trabajo nocturno permanente no está permitido y la jornada máxima, en este momento, es de 12 horas, con un sistema de rotación de turnos diseñado para mitigar el riesgo de fatiga que permite compensar los tiempos acumulados en los períodos semanales siguientes.

El impacto del trabajo nocturno y la fatiga

Está científicamente demostrado que el trabajo nocturno afecta el ritmo circadiano del ser humano, alterando capacidades físicas y mentales, como la memoria, la rapidez de respuesta y las variables biológicas. Este desajuste puede considerarse "antinatural" y conduce a un déficit de sueño, lo que tiene un impacto directo en el rendimiento laboral y aumenta el riesgo de accidentes. Numerosos estudios confirman que la fatiga del personal de salud contribuye a fallas, incidentes y eventos adversos en los pacientes. Por ello, un enfoque de calidad exige analizar cómo el cansancio del personal influye en la seguridad del paciente. De igual manera, es crucial proteger la salud del trabajador, que se ve expuesto a una mayor accidentalidad, estrés laboral y, en casos extremos, al síndrome de Burnout.

Nuestros lineamientos y su importancia

Conscientes de estos riesgos, nuestro hospital cuenta con una política para regular el trabajo suplementario o de horas extras y de unos instructivos específicos para la programación de turnos para el personal asistencial. Estos documentos, junto con nuestro sistema de programación automatizado, tienen como objetivo prevenir el cansancio y la fatiga del personal asistencial y asegurar el cumplimiento de las normas laborales vigentes.

La programación de turnos se basa en:

El tiempo de contratación del empleado.

La oferta y horario del servicio asistencial.

El tipo de servicio (hospitalario, quirúrgico, ambulatorio o administrativo).

Un enfoque integral de gestión de riesgos

Para garantizar la seguridad del paciente y del trabajador, es fundamental no solo gestionar los horarios, sino también abordar otros factores. En Colombia, estos se evalúan a través de los factores de riesgo psicosocial, que incluyen dominios intralaborales, extralaborales e individuales.

Estudios internacionales de los Centros Para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC por sus siglas en inglés Center for Disease Control and Prevention) y publicaciones como las de Shanafeit et. al. (2012) y la OMS (2010) demuestran que el personal de salud está expuesto a un alto estrés ocupacional que, si no se maneja, puede llevar a:

Un aumento de la irritabilidad y angustia.

Dificultad para concentrarse y tomar decisiones.

Disminución del compromiso laboral.

Síntomas físicos y emocionales, como cansancio, depresión y trastornos del sueño.

Consecuente con lo anterior, el programa de prevención de la fatiga promoverá los siguientes elementos:

Horarios y jornadas laborales equilibradas acordes al ordenamiento legal

Cumplimiento en el disfrute de las vacaciones.

Gestión adecuada de turnos nocturnos, corridos y descansos.

Prevención y manejo de riesgos psicosociales y Burnout.

Promoción del bienestar físico y mental, incluyendo pausas activas, sueño reparador y estrategias de alivio del estrés.

OBJETIVO GENERAL

Prevenir, reducir y detectar tempranamente el cansancio y la fatiga en los trabajadores del hospital, fortaleciendo la seguridad del paciente y la salud en el trabajo.

ALCANCE

Este documento establece las directrices para minimizar los riesgos psicosociales y la fatiga laboral, protegiendo la salud física y mental de los empleados del Hospital.

POBLACIÓN A LA QUE SE DIRIGE

Personal Asistencial: con turnos fijos y rotativo.

Personal Administrativos: Con turnos fijos y rotativo

Personal de Apoyo: Con turno diurno fijo y rotativo.

2. Metodología

Gestión Organizacional del Trabajo

Objetivo: Regular turnos, cargas laborales y condiciones de descanso.

Actividad	Responsable	Recursos	Indicador	Tiempo
Habilitar los recursos para la ejecución del	Gerencia / Talento Humano / Relaciones	Integrantes del Grupo Ampliado de Gestión	Recursos habilitados	3 meses

Actividad programa	Responsable Laborales / Seguridad y Salud en el Trabajo	Recursos Humana	Indicador	Tiempo
Regular los turnos para cumplir con la parametrización en la programación con el descanso mínimo definido entre jornadas	Jefes de servicio / Coordinadores / Programadores de Turnos	Software de turnos	Saldo de horas por persona, cargo y servicio	6 meses
Habilitar salas de descanso y esparcimiento	Jefe de Ingeniería Hospitalaria	Infraestructura / mobiliario	# de áreas habilitadas	12 - 24 meses
Ajustar la planta de personal por servicio según capacidad instalada	Gerencia de Operaciones / Dirección Adultos y Pediatría (Médica / Enfermería) y Gerencia Administrativa	Estudio técnico de suficiencia de personal Relación paciente / profesional definida / Carga de Trabajo	Indicador de planeación del talento humano	6 meses

Educación y Capacitación

Objetivo: Formar al personal en autocuidado y prácticas seguras.

Actividad	Responsable	Recursos	Indicador	Tiempo
Capacitación en higiene del sueño, pausas activas y manejo del estrés	SST / Plataforma virtual	Paquetes instruccionales, capacitadores	% de personal capacitado	Anual
Difusión de cartillas y cápsulas informativas digitales	Gestión Clínica Seguridad y Salud en el Trabajo	Material impreso/digital Recursos del presupuesto de Gestión Clínica y de SST	# piezas distribuidas % de visualización de la información	Continuo

Promoción del Autocuidado y Apoyo Psicosocial

Objetivo: Fomentar hábitos saludables y brindar soporte emocional y prevenir Burnout.

Actividad	Responsable	Recursos	Indicador	Tiempo
Implementar pausas activas cada 3 h (mindfulness, relajación, activación física)	Bienestar Laboral	Instructores	% cobertura de las pausas	Continuo
Programas de actividad física y recreativa	Bienestar laboral	Programa de Bienestar Laboral	% de participación	Semestral
Menú saludable en cafetería y horarios flexibles de alimentación	Gerencia de Operaciones / Proveedor	Contrato alimentación	% satisfacción usuarios	Continuo
Asesoría psicológica para trabajadores	Gestión Humana (Programa de Bienestar Emocional - PAUSA) SST	Psicólogos internos / externos	# consultas atendidas	Continuo

Vigilancia y Monitoreo

Objetivo: Medir y reducir la fatiga laboral.

Actividad	Responsable	Recursos	Indicador	Tiempo
Aplicar tamizajes de fatiga, Burnout (Maslach, Karolinska) y calidad del sueño	SST	Instrumentos validados	% evaluados / año en las áreas priorizadas	Anual
Registrar incidentes relacionados posiblemente con cansancio (errores de medicación, fallas en turnos, segundas víctimas)	SST / Gestión Clínica	Sistema de Gestión de la SST / Gestión Clínica (Reporte de incidentes y eventos adversos)	# incidentes reportados	Continuo
Evaluación de los factores de riesgo psicosociales en el trabajo	Gestión Humana / SST	Resultados y plan de intervención	Variación de mejora en las áreas priorizadas para intervención	
Programa de reincorporación laboral post-incapacidad	SST / Líderes de procesos	SST	% reintegros acompañados	Continuo

CRONOGRAMA GENERAL

0–3 meses: Diagnóstico inicial, adopción política, diseño de capacitaciones.

4–24 meses: Ajuste turnos, dotación, inicio de las capacitaciones, apertura de salas de descanso.

7–12 meses: Implementación de tamizajes, campañas de autocuidado, programas psicosociales.

6–24 meses: Evaluación de indicadores, retroalimentación y mejora continua.

3. Resultados y discusión de resultados

Implementación y continuidad del programa cumpliendo con los aspectos planteados y sus indicadores

4. Conclusiones

La prevención de la fatiga requiere una intervención integral que articule la programación de turnos, los periodos de descanso, la capacitación y el apoyo psicosocial. El programa propuesto sitúa la protección del trabajador y la seguridad del paciente como objetivos complementarios. Su seguimiento mediante indicadores y la evaluación periódica de las actividades permitirán orientar los ajustes y la mejora continua, sin que el documento presente todavía una evaluación de resultados de su implementación.

Bibliografía

PREVENIR EL CANSANCIO EN EL PERSONAL DE SALUD. PAQUETES INSTRUCCIONALES GUÍA TÉCNICA "BUENAS PRÁCTICAS PARA LA SEGURIDAD DEL PACIENTE EN LA ATENCIÓN EN SALUD". Versión 2.0. Ministerio de Salud de Colombia publicado en el año 2015.

EVALUACIÓN DE LA FRECUENCIA DE EVENTOS ADVERSOS Y MONITOREO DE ASPECTOS CLAVES RELACIONADOS CON LA SEGURIDAD DEL PACIENTE. PAQUETES INSTRUCCIONALES GUÍA TÉCNICA "BUENAS PRÁCTICAS PARA LA SEGURIDAD DEL PACIENTE EN LA ATENCIÓN EN SALUD". Versión 2.0.

Ministerio de Salud de Colombia publicado en el año 2015.

Desgaste laboral: cómo detectarlo y tomar medidas. Estilo de vida saludable. Salud del adulto. Disponible en https://www.mayoclinic.org/es-es/burnout/art-20046642/in-depth/art-20046642. Consultado el 20/05/2019

La organización del trabajo y el estrés. Serie protección de la salud de los trabajadores N°3. Stavroula Leka, Prof Amanda Griffiths, Prof Tom Cox. Estrategias sistemáticas de solución de problemas para empleadores, persona directiva y representantes sindicales. OIT

Política Nacional de Talento Humano en Salud. Dirección de Desarrollo del Talento Humano en Salud. Bogotá D.C., Julio 10 de 2018.Ministerio de Salud. República de Colombia.

LEY 269 DE 1996. (febrero 29). Diario Oficial No. 42.733., de 1o. de marzo de 1996. Por la cual se regula parcialmente el artículo 128 de la Constitución Política, en relación con quienes prestan servicios de salud en las entidades de derecho público.

LEY 1917 DE 2018. (julio 12). Diario Oficial No. 50.652 de 12 de julio de 2018. PODER PÚBLICO - RAMA LEGISLATIVA. Por medio de la cual se reglamenta el Sistema de Residencias Médicas en Colombia, su mecanismo de financiación y se dictan otras disposiciones.

NTP 455: Trabajo a turnos y nocturno: aspectos organizativos. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

TIEMPOS Y RITMOS DE TRABAJO. INCIDENCIAS EN LA SALUD. Artículo publicado en Jesús Vicens (ED.) Tiempo y Cambio Social. Editorial Germanía, Alzira, 2004. Disponible en: http://istas.net/descargas/tiemposyr.pdf Consultado el 20/05/2019

ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO. Capítulo 43. Riesgos Generales. Horas de Trabajo.

LEY 2466 DE 2025 (Junio 25). Por medio de la cual se modifica parcialmente normas laborales y se adopta una Reforma Laboral para el trabajo decente y digno en Colombia

Dos décadas de siniestralidad laboral en el sector agrícola colombiano, 2005-2025: análisis documental para fortalecer la gestión preventiva en Seguridad y Salud en el Trabajo.

Daniel Alberto Macias-Usuga[a]*

[a]Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO

*daniel.maciasusuga.u@uniminuto.edu.co

Abstract

El sector agrícola colombiano se mantiene como uno de los sectores económicos con mayor exposición a peligros laborales y alta ocurrencia de accidentes de trabajo. En la segunda década del siglo XXI, el sector agricultura, ganadería, caza y silvicultura presentó un índice de frecuencia promedio de 16 accidentes por cada 100 trabajadores, superior a la media nacional de 6 accidentes por cada 100 trabajadores; asimismo, en 2021 registró 59.310 accidentes laborales, equivalentes al 11,5% del total nacional de accidentes de trabajo reportados en Colombia (Garcés Moncada et al., 2023). La metodología desarrolla un estudio documental, descriptivo y longitudinal, a partir de registros estadísticos reportados por las Administradoras de Riesgos Laborales al Sistema General de Riesgos

Laborales en Colombia durante el periodo 2005-2025. Se analizan variables asociadas a afiliación, accidentes de trabajo, tasas de accidentalidad, enfermedad laboral y mortalidad, mediante analítica de datos, tablas comparativas, gráficos de tendencia y análisis por periodos normativos en seguridad y salud en el trabajo. Los resultados y datos disponibles evidencian la persistencia de altos niveles de siniestralidad en el sector agrícola. En 2024, el sector agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca presentó la mayor tasa de accidentalidad laboral, con 13,50 eventos por cada 100 trabajadores (Consejo Colombiano de Seguridad, 2025). A nivel nacional, se reportaron 521.226 accidentes de trabajo en 2024 y 534.444 accidentes de trabajo en 2025 (Consejo Colombiano de Seguridad, 2026). En conclusión, el comportamiento de la siniestralidad laboral agrícola demuestra la necesidad de fortalecer la gestión preventiva en seguridad y salud en el trabajo mediante intervenciones sectoriales, territoriales y basadas en evidencia estadística.

Palabras Clave

Siniestralidad laboral; accidentes de trabajo; Administradoras de Riesgos Laborales; gestión preventiva; seguridad y salud en el trabajo.

1. Introducción

El trabajo constituye una actividad esencial para la producción de bienes y servicios y requiere la integración de las capacidades físicas, mentales, cognitivas y sociales de las personas. Sin embargo, su desarrollo también implica la exposición a peligros que, cuando no se identifican, evalúan y controlan adecuadamente, pueden generar incidentes, accidentes de trabajo, enfermedades laborales e incluso la muerte. Estos eventos pueden relacionarse con deficiencias en las medidas preventivas, con la ausencia de controles eficaces o con planes de trabajo que no responden a las causas reales de la siniestralidad laboral (Garcés, 2018).

La agricultura representa una actividad fundamental para la seguridad alimentaria, el empleo y el desarrollo económico y social de los territorios. No obstante, también se reconoce como uno de los sectores productivos con mayor exposición a riesgos laborales. Sus trabajadores desarrollan actividades asociadas con el uso de maquinaria, herramientas cortantes, vehículos, productos químicos y agentes biológicos, además de estar expuestos a condiciones climáticas variables, sobreesfuerzos físicos y extensas jornadas de trabajo. La Organización Internacional del Trabajo señala que la agricultura, junto con la construcción, la silvicultura, la pesca y la manufactura, se encuentra entre las actividades económicas más peligrosas y que una proporción significativa de las lesiones ocupacionales mortales en el mundo se concentra en trabajadores agrícolas (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2023).

La exposición laboral en este sector adquiere características particulares debido a la diversidad de procesos productivos, la dispersión geográfica de los lugares de trabajo, la temporalidad de algunas actividades, la limitada tecnificación y la participación de trabajadores con diferentes modalidades de vinculación. A estas condiciones se suman las dificultades para desarrollar procesos continuos de capacitación, vigilancia, inspección y acompañamiento preventivo en áreas rurales. En consecuencia, la siniestralidad laboral agrícola no debe analizarse exclusivamente como el resultado de comportamientos individuales, sino como un fenómeno relacionado con las condiciones de trabajo, la organización de los procesos productivos y la capacidad de los sistemas de gestión para controlar los peligros presentes.

En Colombia, la protección de los trabajadores se desarrolla mediante el Sistema General de Riesgos Laborales, entendido como el conjunto de entidades, normas y procedimientos destinados a prevenir, proteger y atender a los trabajadores frente a los efectos derivados de los accidentes de trabajo y las enfermedades laborales. La Ley 1562 de 2012 modificó este sistema y consolidó el concepto de seguridad y salud en el trabajo, orientándolo hacia la prevención de lesiones y enfermedades ocasionadas por las condiciones laborales y hacia la promoción y el mantenimiento del bienestar de los trabajadores (Ley 1562 de 2012). Posteriormente, el Decreto 1443 de 2014 estableció disposiciones para la implementación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, lineamientos que se integraron al Decreto 1072 de 2015. Asimismo, la Resolución 0312 de 2019 definió los estándares mínimos aplicables a los empleadores y contratantes según sus características, número de trabajadores y nivel de riesgo (Decreto 1443 de 2014; Decreto 1072 de 2015; Resolución 0312 de 2019).

A pesar del fortalecimiento progresivo del marco normativo, las estadísticas muestran que la accidentalidad laboral mantiene una presencia relevante en el sector agrícola colombiano. En el análisis realizado por Garcés Moncada et al. (2023), a partir de los registros suministrados por las Administradoras de Riesgos Laborales y consolidados por la Federación de Aseguradores Colombianos, se identificó que el sector agricultura, ganadería, caza y silvicultura presentó, entre 2011 y 2021, un índice de frecuencia promedio de 16 accidentes por cada 100 trabajadores, superior a la media nacional de 6 accidentes por cada 100 trabajadores. En 2021, este sector registró 59.310 accidentes de trabajo, equivalentes al 11,5 % de los 513.857 accidentes reportados en el país durante ese año (Garcés Moncada et al., 2023).

Los antecedentes también muestran que el comportamiento de la accidentalidad agrícola no siguió una reducción uniforme. En 2011 se registró un índice de frecuencia de 15 accidentes por cada 100 trabajadores; entre 2012 y 2014, el promedio aumentó a 19; entre 2015 y 2018 descendió a 16; y entre 2019 y 2021 alcanzó un promedio de 14 accidentes por cada 100 trabajadores. Aunque esta evolución presenta una tendencia decreciente en algunos periodos, los indicadores permanecieron por encima del promedio correspondiente al conjunto de los sectores económicos. Asimismo, entre 2011 y 2018 el índice del sector agrícola duplicó el indicador de los demás sectores y, entre 2019 y 2021, llegó a triplicarlo (Garcés Moncada et al., 2023).

Estos resultados plantean interrogantes sobre la correspondencia entre el desarrollo normativo, la implementación formal del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y la disminución efectiva de los accidentes, enfermedades y muertes laborales. El cumplimiento documental de los estándares mínimos no necesariamente demuestra que los controles operacionales sean suficientes o que respondan a las condiciones reales de los trabajadores agrícolas. Por esta razón, los registros estadísticos reportados por las Administradoras de Riesgos Laborales constituyen una fuente relevante para identificar tendencias, evaluar cambios en los indicadores y orientar acciones preventivas basadas en evidencia.

Aunque existen estudios sobre periodos específicos de accidentalidad laboral en Colombia, se requiere una revisión longitudinal que integre los datos disponibles durante un horizonte temporal más amplio. El análisis del periodo 2005-2025 permite observar la evolución de la afiliación al Sistema General de Riesgos Laborales, los accidentes de trabajo, las enfermedades laborales y la mortalidad en el sector agrícola, así como contrastar su comportamiento con los principales cambios normativos producidos en materia de seguridad y salud en el trabajo. Esta perspectiva contribuye a reconocer patrones, periodos críticos y posibles brechas en la gestión preventiva, sin atribuir relaciones causales que no puedan demostrarse mediante un diseño documental y descriptivo.

En este contexto, el objetivo del presente estudio es analizar el comportamiento de la siniestralidad laboral en el sector agrícola colombiano durante el periodo 2005-2025, a partir de los registros estadísticos reportados por las Administradoras de Riesgos Laborales y consolidados por FASECOLDA. El análisis comprende variables relacionadas con la afiliación, los accidentes de trabajo, las tasas de accidentalidad, las enfermedades laborales y la mortalidad. Sus resultados buscan aportar evidencia para la toma de decisiones, la priorización de intervenciones sectoriales y territoriales y el fortalecimiento de la gestión preventiva en seguridad y salud en el trabajo.

2. Metodología

Diseño del estudio, se desarrolló un estudio documental, descriptivo y longitudinal, orientado al análisis de la siniestralidad laboral en el sector agrícola colombiano durante el periodo 2005-2025. El diseño documental permitió examinar registros estadísticos previamente consolidados, mientras que el enfoque descriptivo facilitó la identificación de tendencias, variaciones y patrones en los indicadores analizados. El carácter longitudinal se estableció a partir de la observación de la información correspondiente a dos décadas.

Fuente de información, La fuente principal estuvo constituida por los registros estadísticos reportados por las Administradoras de Riesgos Laborales y consolidados por la Federación de Aseguradores Colombianos —FASECOLDA— dentro del Sistema General de Riesgos Laborales. Se empleó únicamente información correspondiente a Colombia y a las Administradoras de Riesgos Laborales, de acuerdo con el alcance definido para el estudio.

Como antecedente metodológico, se tomó en consideración el análisis realizado para el periodo 2011-2021, en el cual se organizaron y compararon datos de accidentalidad laboral del sector agricultura, ganadería, caza y silvicultura con los indicadores nacionales.

Población y unidad de análisis, la unidad de análisis estuvo conformada por los registros anuales de siniestralidad laboral asociados al sector agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca en Colombia. Para efectos de presentación y síntesis, este conjunto de actividades se denominó sector agrícola colombiano, sin modificar la clasificación económica utilizada en las fuentes originales.

Se incluyeron los registros correspondientes al periodo comprendido entre 2005 y 2025 que presentaron información disponible y verificable sobre las variables definidas. Se excluyeron datos provenientes de otros países, registros ajenos al Sistema General de Riesgos Laborales colombiano e información sin trazabilidad respecto de su fuente institucional.

Variables analizadas, el análisis comprendió las siguientes variables:

número de trabajadores afiliados al Sistema General de Riesgos Laborales;

número de accidentes de trabajo reportados;

tasa o índice de accidentalidad laboral;

número y tasa de enfermedades laborales;

número y tasa de muertes relacionadas con el trabajo;

participación del sector agrícola frente al total nacional;

variaciones anuales y tendencias observadas durante el periodo estudiado.

La disponibilidad de cada variable dependió del nivel de desagregación presentado por las fuentes consultadas. Cuando una serie no estuvo completa para todo el periodo, se utilizó únicamente la información disponible y se señaló la limitación correspondiente.

Recolección y organización de los datos, los datos se recopilaron a partir de los reportes estadísticos institucionales disponibles para cada año. Posteriormente, se organizaron en una matriz de análisis con campos relacionados con el año, número de afiliados, accidentes de trabajo, enfermedades laborales, muertes laborales, tasas reportadas y participación porcentual del sector.

Para garantizar la trazabilidad, se conservaron la denominación original de las variables, el periodo de referencia y la fuente de cada registro. Cuando se identificaron cambios en la clasificación de las actividades económicas o en la forma de presentación de los indicadores, estos se revisaron antes de realizar comparaciones entre años.

Tratamiento y análisis de la información, la información se examinó mediante analítica descriptiva de datos. Se calcularon frecuencias absolutas, participaciones porcentuales, variaciones interanuales y promedios, siempre que los datos disponibles permitieron efectuar estos procedimientos. Los resultados se representaron por medio de tablas comparativas y gráficos de tendencia, con el propósito de facilitar la observación del comportamiento de la siniestralidad laboral durante el periodo 2005-2025.

También se compararon los indicadores del sector agrícola con los resultados nacionales, con el fin de establecer diferencias en el comportamiento de la accidentalidad, la enfermedad laboral y la mortalidad. El análisis se organizó por periodos temporales y normativos relevantes para la seguridad y salud en el trabajo en Colombia. Sin embargo, debido al carácter documental y descriptivo del estudio, no se atribuyeron relaciones causales entre la expedición de normas y las variaciones observadas en los indicadores.

Consideraciones de calidad y limitaciones, la calidad de la información se verificó mediante la revisión de la fuente institucional, la correspondencia del periodo y la consistencia entre cifras absolutas, tasas y porcentajes. No se modificaron los datos originales reportados por las Administradoras de Riesgos Laborales.

El estudio se limitó a los eventos registrados dentro del Sistema General de Riesgos Laborales. En consecuencia, las cifras no representaron necesariamente la totalidad de la población trabajadora agrícola, especialmente por la presencia de informalidad laboral, subregistro y

diferencias en la cobertura de afiliación. Asimismo, la comparación longitudinal estuvo condicionada por posibles cambios en la clasificación económica, en los sistemas de reporte y en la disponibilidad de información para algunos años.

3. Resultados y discusión de resultados

Los registros analizados muestran que el sector agrícola colombiano mantiene indicadores de accidentalidad superiores al promedio nacional. Entre 2011 y 2021, el sector agricultura, ganadería, caza y silvicultura presentó un índice de frecuencia promedio de 16 accidentes de trabajo por cada 100 trabajadores, mientras que el promedio nacional fue de 6 accidentes por cada 100 trabajadores. En 2021 se registraron 59.310 accidentes laborales en este sector, equivalentes al 11,5 % de los 513.857 accidentes de trabajo reportados en Colombia durante ese año (Garcés Moncada et al., 2023).

El comportamiento del indicador no fue uniforme durante el periodo previamente estudiado. En 2011 se registró un índice de frecuencia de 15 accidentes por cada 100 trabajadores. Entre 2012 y 2014, el promedio ascendió a 19; entre 2015 y 2018 descendió a 16; y entre 2019 y 2021 se situó en 14 accidentes por cada 100 trabajadores. Aunque los últimos periodos reflejaron una disminución respecto de los valores observados entre 2012 y 2014, el indicador continuó por encima del promedio nacional. Además, entre 2011 y 2018 el índice del sector agrícola duplicó el registrado por los demás sectores económicos y, entre 2019 y 2021, llegó a triplicarlo (Garcés Moncada et al., 2023).

Los datos recientes confirmaron la permanencia de esta diferencia sectorial. En 2024, la actividad de agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca presentó una tasa anual de 13,50 accidentes por cada 100 trabajadores, la más alta entre los sectores económicos del país. En contraste, la tasa nacional se ubicó en 4,02 accidentes por cada 100 trabajadores, lo que indica que la tasa del sector agrícola fue aproximadamente 3,4 veces superior al promedio nacional (Consejo Colombiano de Seguridad [CCS], 2025).

En 2025, la tasa de accidentalidad del sector agrícola descendió a 11,22 eventos por cada 100 trabajadores. Este resultado representó una reducción frente a los 13,50 eventos registrados en 2024; no obstante, continuó siendo casi tres veces superior a la tasa nacional de 3,96 accidentes por cada 100 trabajadores (CCS, 2026). Por consiguiente, la disminución anual no significó que la brecha entre el sector agrícola y el promedio nacional hubiera desaparecido, sino que la actividad continuó ocupando una posición crítica dentro del Sistema General de Riesgos Laborales.

La persistencia de tasas elevadas puede relacionarse con las condiciones propias de las actividades agrícolas, entre ellas el uso de herramientas y maquinaria, el esfuerzo físico, la exposición a agentes químicos y biológicos, la variabilidad climática y la dispersión territorial de los lugares de trabajo. Sin embargo, debido al carácter documental y descriptivo del estudio, los registros analizados no permiten demostrar que estos factores causaron directamente los accidentes reportados. Los resultados permiten identificar tendencias y diferencias sectoriales, pero requieren estudios específicos sobre actividades económicas, ocupaciones, agentes de lesión y circunstancias de ocurrencia para explicar las causas de la siniestralidad.

Evolución de la accidentalidad en Colombia, a nivel nacional, en 2024 se registraron 521.226 accidentes de trabajo, equivalentes a un promedio de 1.428 eventos diarios. La tasa nacional fue de 4,02 accidentes por cada 100 trabajadores, inferior a los 4,40 casos registrados tanto en 2022 como en 2023. Durante el mismo año también se calificaron 10.429 enfermedades laborales y se reportaron 408 muertes asociadas al trabajo (CCS, 2025).

En 2025 se reportaron 534.444 accidentes de trabajo, 10.294 enfermedades laborales calificadas y 438 muertes asociadas al trabajo. Aunque el número absoluto de accidentes

aumentó un 2,7 % frente a 2024, la tasa nacional disminuyó de 4,02 a 3,96 eventos por cada 100 trabajadores. Esta diferencia entre el número de casos y la tasa se presentó en un contexto de crecimiento de la población afiliada al Sistema General de Riesgos Laborales, que pasó de 12.955.506 trabajadores en 2024 a 13.510.827 en 2025, con un incremento del 4,3 % (CCS, 2026).

Este resultado evidencia la importancia de analizar conjuntamente las frecuencias absolutas y las tasas. El incremento del número total de accidentes no implica necesariamente un aumento proporcional del riesgo cuando también crece la población expuesta y afiliada. De manera inversa, una reducción de la tasa nacional no permite concluir que el problema esté controlado, puesto que durante 2025 continuaron registrándose más de medio millón de accidentes de trabajo y aumentaron las muertes asociadas al trabajo frente al año anterior.

En el caso del sector agrícola, la comparación con el comportamiento nacional muestra una brecha persistente. Mientras la tasa nacional se mantuvo cercana a cuatro accidentes por cada 100 trabajadores en 2024 y 2025, el sector agrícola registró tasas de 13,50 y 11,22, respectivamente. Esta diferencia señala que las intervenciones preventivas generales deben complementarse con estrategias sectoriales adaptadas a las características de las actividades rurales, los procesos productivos y las condiciones territoriales.

Enfermedad laboral y mortalidad, la siniestralidad laboral no se limita a los accidentes de trabajo. Durante el primer semestre de 2024, el sector agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca también presentó la mayor tasa sectorial de enfermedad laboral del país, con 125,21 casos por cada 100.000 trabajadores, cifra cercana a tres veces la tasa nacional del mismo periodo (CCS, 2024).

Este resultado amplía el alcance del problema, dado que las condiciones de trabajo agrícolas pueden producir consecuencias inmediatas, representadas por los accidentes, y efectos que se manifiestan progresivamente mediante enfermedades laborales. No obstante, la información disponible en los insumos actuales no permite establecer una serie homogénea de enfermedades y muertes laborales del sector agrícola para todo el periodo 2005-2025. Por ello, cualquier comparación longitudinal de estas variables debe realizarse únicamente después de verificar la disponibilidad, definición y consistencia de los registros correspondientes a cada año.

En el ámbito nacional, las muertes asociadas al trabajo pasaron de 408 en 2024 a 438 en 2025. Mientras la tasa general de accidentalidad presentó una reducción, la mortalidad aumentó durante el último año analizado. Este comportamiento demuestra que la frecuencia de los accidentes y la gravedad de sus consecuencias no necesariamente evolucionan en la misma dirección, por lo cual deben analizarse como indicadores relacionados, pero diferentes.

Implicaciones para la gestión preventiva en SST, los resultados reflejan que el fortalecimiento normativo e institucional de la seguridad y salud en el trabajo ha coincidido con una reducción de algunos indicadores nacionales; sin embargo, no permiten afirmar que las modificaciones normativas hayan causado directamente esa disminución. La evolución de la siniestralidad puede estar relacionada con múltiples factores, como los cambios en el número de trabajadores afiliados, la composición de las actividades económicas, los sistemas de reporte, las condiciones productivas y la implementación efectiva de medidas preventivas.

En el sector agrícola, las tasas superiores al promedio nacional indican que las medidas generales del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo deben acompañarse de acciones específicas. Los registros de las Administradoras de Riesgos Laborales permiten identificar sectores prioritarios, pero su utilidad preventiva depende de que la información se transforme en intervenciones concretas sobre las actividades, peligros y territorios con mayor exposición.

La gestión preventiva requiere, por tanto, superar una aproximación centrada exclusivamente en el cumplimiento documental. La existencia de procedimientos, matrices de peligros y planes anuales no garantiza por sí misma la reducción de la siniestralidad. Los resultados sugieren la necesidad de evaluar la aplicación efectiva de los controles, la capacitación de los trabajadores, la asistencia técnica de las Administradoras de Riesgos Laborales y el seguimiento de los indicadores de accidentalidad, enfermedad laboral y mortalidad.

Finalmente, el análisis se limita a los eventos registrados dentro del Sistema General de Riesgos Laborales. Las cifras no representan necesariamente la totalidad de la siniestralidad del sector agrícola colombiano, debido a la informalidad laboral y a la existencia de trabajadores que no se encuentran afiliados. En 2025, la cobertura del sistema correspondió al 56,7 % de la población ocupada del país, lo que evidencia que una parte importante de los trabajadores permanecía fuera de la protección del sistema y, por tanto, de sus registros estadísticos (CCS, 2026).

4. Conclusiones

El análisis de la siniestralidad laboral evidencia que el sector agrícola colombiano mantiene una exposición significativa a los accidentes de trabajo. Entre 2011 y 2021 presentó un índice de frecuencia promedio de 16 accidentes por cada 100 trabajadores, superior al promedio nacional de 6, y en 2021 concentró 59.310 accidentes laborales, equivalentes al 11,5 % del total reportado en Colombia (Garcés Moncada et al., 2023). Estos resultados confirman que la accidentalidad agrícola no corresponde a una situación aislada, sino a un problema persistente dentro del Sistema General de Riesgos Laborales.

Los datos más recientes muestran una reducción de la tasa sectorial de accidentalidad, al pasar de 13,50 accidentes por cada 100 trabajadores en 2024 a 11,22 en 2025. Sin embargo, el sector agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca continuó registrando la mayor tasa de accidentalidad entre las actividades económicas del país y mantuvo un indicador cercano a tres veces la tasa nacional en 2025. Por tanto, la disminución observada representa un avance, pero no elimina la brecha existente entre el sector agrícola y el conjunto de la economía colombiana.

A nivel nacional, el aumento de 521.226 accidentes de trabajo en 2024 a 534.444 en 2025, acompañado de una disminución de la tasa general, demuestra la necesidad de interpretar conjuntamente los valores absolutos, las tasas y el número de trabajadores afiliados. Asimismo, el incremento de las muertes asociadas al trabajo, de 408 en 2024 a 438 en 2025, indica que la reducción de la frecuencia de los accidentes no implica necesariamente una disminución de su gravedad.

La persistencia de tasas elevadas evidencia que el fortalecimiento normativo y la implementación formal del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo no garantizan por sí solos una disminución efectiva de la siniestralidad. La gestión preventiva debe orientarse hacia la aplicación real de controles, la identificación de actividades y territorios prioritarios, la capacitación continua de los trabajadores y el acompañamiento técnico de las Administradoras de Riesgos Laborales. También resulta necesario utilizar los registros estadísticos como herramientas permanentes para evaluar la efectividad de las intervenciones y ajustar las acciones preventivas.

El estudio se encuentra limitado por la cobertura del Sistema General de Riesgos Laborales, la informalidad del trabajo rural, el posible subregistro de eventos y los cambios en la clasificación económica y en los sistemas de reporte. En consecuencia, las cifras analizadas representan principalmente a la población afiliada y no necesariamente reflejan la totalidad de la siniestralidad del sector agrícola colombiano. Además, la naturaleza documental y

descriptiva del estudio permite identificar tendencias y diferencias, pero no establecer relaciones causales entre los cambios normativos y el comportamiento de los accidentes, las enfermedades o la mortalidad laboral.

En conclusión, el comportamiento observado durante las dos décadas analizadas respalda la necesidad de fortalecer una gestión preventiva sectorial, territorial y basada en evidencia. Las Administradoras de Riesgos Laborales, los empleadores, los trabajadores y las entidades públicas deben articular acciones orientadas a reducir la exposición a peligros, mejorar la calidad de los registros y priorizar intervenciones acordes con las condiciones reales del trabajo agrícola.

Bibliografía

Consejo Colombiano de Seguridad. (2024). Informe de siniestralidad laboral del primer semestre de 2024. https://ccs.org.co/portfolio/informe-de-siniestralidad-laboral-del-primer-semestre-de-2024/

Consejo Colombiano de Seguridad. (2025, 26 de marzo). Aunque la siniestralidad laboral se redujo en 2024, aún se presentan más de 1400 accidentes y se pierde una vida al día. https://ccs.org.co/siniestralidad_laboral_2024/

Consejo Colombiano de Seguridad. (2026). Informe de siniestralidad laboral 2025. Observatorio de Seguridad y Salud en el Trabajo. https://ccs.org.co/observatorio/assets/boletin_fasecolda/6997727873dbe.pdf

Consejo Colombiano de Seguridad. (2026, 13 de abril). Conoce el Informe de Siniestralidad Laboral 2025 del Observatorio de Seguridad y Salud en el Trabajo del Consejo Colombiano de Seguridad. https://ccs.org.co/siniestralidad-laboral-2025-ccs/

Decreto 1443 de 2014. Por el cual se dictan disposiciones para la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). 31 de julio de 2014. Diario Oficial No. 49.229. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=58841

Decreto 1072 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. 26 de mayo de 2015. Diario Oficial No. 49.523. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=72173

Garcés Moncada, C. H. (2018). Diseño de propuestas para prevenir y disminuir los incidentes y accidentes de trabajo en las labores más críticas de una empresa del sector bananero del Urabá antioqueño [Trabajo de maestría, Universidad Autónoma de Occidente]. Repositorio Educativo Digital de la Universidad Autónoma de Occidente. http://hdl.handle.net/10614/10957

Garcés Moncada, C. H., Macías Úsuga, D. A., Méndez Vargas, D. F., Peralta Alzate, J. C., y Álvarez Largo, L. M. (2023). Revisión de datos estadísticos de accidentes de trabajo en el sector agricultura, ganadería, caza y silvicultura reportados por las aseguradoras de riesgos laborales a FASECOLDA, generando reflexión en los responsables del Sistema General de Riesgos Laborales. ORPjournal, número extraordinario 1, 57. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9774033

Ley 1562 de 2012. Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional. 11 de julio de 2012. Diario Oficial No. 48.488. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=48365

Organización Internacional del Trabajo. (2023). Safe and healthy working environments for all. https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40ed_protect/%40protrav/%40safework/documents/publication/wcms_906187.pdf

Resolución 0312 de 2019 [Ministerio del Trabajo]. Por la cual se definen los estándares mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). 13 de febrero de 2019.

Reducción de la Siniestralidad en el Sector Cooperativo Agroindustrial: Un Modelo de Gestión Basado en Datos e Intervención Técnica

Nicolas Maciel, Maria Belen Reol, Facundo Guaraccio

LA SEGUNDA ART SA

ASOCIACIÓN DE COOPERATIVAS ARGENTINAS - COOP. LTDA.

nmaciel@lasegunda.com.ar

Abstract

Antecedentes: Durante el período 2022-2023, la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) detectó un desvío desfavorable en sus tasas de siniestralidad dentro de su compleja y dispersa red agroindustrial, impulsado por riesgos intrínsecos del sector y una fragmentación operativa previa.

Objetivo: Validar la efectividad de la implementación de un Modelo de Gestión Integral de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) para mitigar el riesgo operacional y reducir de forma sostenible la siniestralidad de la organización.

Método: Se adoptó un diseño de estudio de caso longitudinal. La evaluación cuantitativa del impacto en la accidentabilidad y jornadas perdidas se circunscribe estrictamente al trienio consolidado 2023-2025, período para el cual se dispone de la totalidad de las variables siniestrales homologadas. El horizonte temporal se extiende hacia el año 2026 con un carácter exclusivamente descriptivo-institucional, con el objetivo de documentar el dimensionamiento final de la estructura preventiva alcanzada y trazar las líneas de acción de trabajo a futuro.

Resultados: Se identificó que el 69% de los siniestros se concentraba en cuatro plantas y en la red de acopios. Tras la intervención, se constató una reducción del 33,8% en la siniestralidad global, un descenso del 29,2% en accidentes in itinere y una contracción del 39,1% en las jornadas perdidas (días ILT), posicionando a la organización significativamente por debajo de los índices de referencia oficiales.

Conclusión: La convergencia entre la gobernanza basada en datos (data-driven safety) y la intervención técnica focalizada demuestra ser una estrategia altamente eficaz para quebrar la inercia de la accidentabilidad en organizaciones agroindustriales con alta dispersión geográfica.

Palabras Clave

Seguridad y Salud en el Trabajo, Sector Agroindustrial, Gesta de Datos, Modelos Cooperativos, Prevención de Riesgos.

1. Introducción

La Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) constituye una de las redes agroindustriales más extensas y complejas de la República Argentina. Fundada en 1922, opera como una cooperativa de segundo grado que agrupa a más de 140 cooperativas de base, consolidando la producción de más de 50.000 productores agrícolas. El soporte operativo de la entidad se sustenta en una infraestructura diversificada de gran escala y con una amplia distribución geográfica a lo largo de múltiples provincias del territorio nacional. Esta red comprende sus principales establecimientos industriales (plantas de producción de agroinsumos y nutrición animal), terminales portuarias estratégicas para la agroexportación, y un sistema de Centros de Desarrollo Cooperativo (CDC) dedicados al acopio, acondicionamiento y logística de granos en el interior del país.

Debido al riesgo intrínseco de sus actividades —que involucran el almacenamiento en silos, trabajos en espacios confinados, manipulación de cargas masivas, operación de maquinaria pesada y transporte de sustancias químicas—, estas instalaciones presentan una matriz de riesgo con una alta potencialidad de daño severo para la integridad física de los trabajadores y la continuidad del negocio. Durante el período 2022-2023, los sistemas de gestión detectaron un desvío desfavorable en las tasas de siniestralidad. Esta tendencia, sumada a la elevada severidad potencial de los eventos identificados en los CDC, impulsó a la organización a ejecutar un proceso de diagnóstico integral.

Como primera medida, se desarrollaron tableros de control analíticos basados en datos de alta calidad, lo que permitió segmentar el comportamiento de la accidentabilidad por unidades de negocio, regiones y establecimientos específicos. La implementación de esta herramienta analítica confirió una mayor asertividad en la toma de decisiones estratégicas, focalizando los recursos y las acciones preventivas en aquellos nodos críticos donde efectivamente se concentraban las desviaciones. Como resultado de este relevamiento de datos, se identificó que las plantas industriales, una terminal portuaria clave y la red de CDC constituían las unidades de negocio prioritarias para la intervención.

En paralelo al diagnóstico técnico, surgió la necesidad de reestructurar el diseño organizacional; para ello, se reforzó el equipo de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) y se modificó el organigrama funcional de la organización, otorgándole al área la jerarquía, autonomía e interdependencia necesarias para la gobernanza efectiva del riesgo. Asimismo, si bien la organización ya contaba con estándares de ACA Coop relacionados a la SST, el diagnóstico evidenció la necesidad de profundizar su implementación y someterlos a una revisión exhaustiva, dado que preexistía una marcada fragmentación operativa donde cada planta o establecimiento se manejaba con criterios propios independientes.

Finalmente, a través de la identificación de las causas raíz de las desviaciones, se estructuró un plan de acción basado en la jerarquía de controles, con especial énfasis en barreras de ingeniería y controles administrativos. Dentro de este marco, las líneas de acción clave incluyeron la capacitación del mando medio en liderazgo y el consecuente refuerzo de su rol en la gestión preventiva, así como el desarrollo de programas específicos para la prevención de siniestros in itinere asociados a conductores de motovehículos. En paralelo, se ejecutó un exhaustivo relevamiento de condiciones operativas con alto potencial de daño en los CDC, cuyos hallazgos fueron integrados en un plan de adecuación técnica e infraestructura. Estas medidas correctivas se orientaron, no solo a mitigar la accidentabilidad inmediata, sino que también a garantizar la sostenibilidad y la seguridad de la operación en el largo plazo.

Consecuentemente, el presente trabajo toma como objeto de estudio dichos complejos industriales, terminales portuarias y la red de CDC de ACA, analizando la efectividad de las acciones implementadas a partir de la ventana temporal 2022-2023, con el propósito de

evaluar su impacto real en la mitigación del riesgo y la reducción efectiva de la siniestralidad de la organización.

A. Contextualización del Sector y la Dispersión Geográfica (El Problema)

"A nivel global, la agroindustria se posiciona de forma consistente como uno de los sectores con mayores tasas de lesiones y muertes ocupacionales. Según los informes consolidados de la Organización Internacional del Trabajo [OIT] (2021), los entornos agrícolas e industriales mixtos presentan una tasa de incidencia de accidentes graves hasta tres veces superior al promedio de los sectores de servicios, impulsada por riesgos mecánicos pesados y atrapamientos en sistemas de almacenamiento. En el contexto de América Latina, García-Ramos et al. (2020) identificaron en su estudio epidemiológico de plantas de acopio que los silos y las líneas de molienda concentran más del 40% de los incidentes de alto potencial de daño (hi-po).

Esta problemática estructural se agrava críticamente en los modelos de gobernanza cooperativa. Como señalan Smith y Davis (2022) en su análisis sobre logística y SST, la dispersión geográfica de las unidades periféricas —tales como los Centros de Desarrollo Cooperativo (CDC)— fragmenta la supervisión corporativa, imposibilitando la aplicación homogénea de estándares preventivos en terreno. En el caso de ACA, esta dispersión derivó en una preocupante laxitud operativa, donde a pesar de la existencia formal de normativas internas de ACA Coop en materia de SST, cada establecimiento gestionaba sus riesgos de manera discrecional y descentralizada, obligando a una profunda revisión y estandarización de dichos lineamientos."

B. El Vacío de Conocimiento: Indicadores Reactivos vs. Analítica de Datos (El Porqué)

El fracaso recurrente en la mitigación sostenible de estos riesgos radica en la naturaleza de las herramientas de control empleadas. Tradicionalmente, la gestión de la SST ha dependido de métricas retrospectivas o lagging indicators (indicadores de resultado), como el índice de frecuencia (IF) y el índice de gravedad (IG). En un estudio crítico sobre la validez de estos indicadores, Sinelnikov et al. (2015) demostraron que las métricas reactivas sufren de un 'sesgo de rezago' que oculta las condiciones de riesgo activas hasta que el accidente ya ha ocurrido.

Si bien la literatura de la Industria 4.0 ha comenzado a explorar el uso de Business Intelligence (Inteligencia de Negocios) para la optimización de procesos productivos (Wang et al., 2021), existe una marcada laguna de conocimiento en la literatura científica respecto a cómo integrar arquitecturas de datos en tiempo real (data-driven safety) en la gestión operativa de cooperativas agroindustriales, un sector caracterizado por su baja digitalización inicial.

C. Justificación Técnica: Mandos Medios y la Epidemia de Motocicletas

Para salvar esta brecha entre la recolección de datos y la acción en terreno, la literatura científica enfatiza el rol del factor humano sub-directivo. El modelo de Clima de Seguridad desarrollado por Zohar (2010) postula que los mandos medios y supervisores de línea actúan como el verdadero "filtro interpretativo" de las políticas de la empresa; si el supervisor prioriza la productividad sobre la seguridad, el operario ignorará el protocolo. Por lo tanto, cualquier intervención técnica requiere de su capacitación específica.

En la organización, la viabilidad de este enfoque teórico fue posible gracias a una profunda reestructuración del organigrama corporativo y al fortalecimiento del sector, otorgando al equipo de MASCC un rol sustancialmente más protagónico y estratégico. Esta transformación institucional vino acompañada de una mayor asignación de recursos presupuestarios, humanos y operativos en SST, así como del despliegue de nuevas tecnologías de analítica de datos que permitieron mapear nominalmente los desvíos. Con este respaldo estructural, se logró dotar a los mandos medios de herramientas de autodiagnóstico en el terreno para romper la inercia de la siniestralidad directamente en la línea operativa.

No obstante, el riesgo agroindustrial excede los límites físicos de las plantas operativas. En zonas periféricas y rurales, el uso de motovehículos como medio de transporte principal ha detonado una crisis de salud pública. Los informes de la Organización Panamericana de la Salud [OPS] (2022) indican que los siniestros in itinere (en el trayecto al trabajo) en motocicleta constituyen la primera causa de muerte laboral en trabajadores jóvenes de la región, un fenómeno que Al-Kaisy et al. (2020) atribuyen a la precariedad de la infraestructura vial rural que rodea a las plantas de procesamiento. Ante la contundencia de los datos analíticos arrojados por el nuevo tablero, que identificó con precisión las dos locaciones portuarias e industriales más críticas para este vector de riesgo, la compañía asumió un rol activo mediante el diseño de planes de movilidad segura y campañas de manejo defensivo dirigidas quirúrgicamente a los usuarios de motocicletas.

D. Análisis Multidimensional de la Estructura SHYMA/SGI y su Correlación con la Siniestralidad y Madurez Normativa (2023-2025)

El análisis del periodo 2023-2025 revela que la mejora en los indicadores de siniestralidad no fue un evento aislado, sino el resultado directo de una transformación sistémica en la Estructura SHYMA/SGI y una expansión robusta en la certificación de sitios bajo estándares internacionales. Los datos demuestran una transición planificada desde una gestión operativa básica hacia una estrategia de Excelencia Operacional basada en dos pilares fundamentales: la especialización del talento y el control normativo.

Especialización y Fortalecimiento del Ecosistema de Salud y Seguridad

Como se detalla en la Tabla 1, la estructura humana total de SHYMA/SGI se incrementó en un 57.1%, consolidando un equipo de 88 profesionales en 2026 frente a los 56 iniciales en 2023. Si bien la internalización del personal técnico propio (SHYMA y SGI) representó una base crítica de gobernanza creciendo un 73.1%, el diagnóstico oportuno identificó una brecha clave en la gestión de la salud ocupacional.

Para dar una respuesta asertiva a esta necesidad, la compañía duplicó el personal de Externos Médicos (un crecimiento del 100%, pasando de 11 a 22 profesionales en 2026). Este repunte, concentrado estratégicamente entre 2025 y 2026, evidencia la incorporación de un enfoque de medicina del trabajo preventivo y de vigilancia epidemiológica activa. El robustecimiento de esta célula médica actuó de forma sinérgica con el equipo técnico para reducir los días perdidos, optimizar el retorno al trabajo seguro y prevenir enfermedades profesionales, impactando directamente en la disminución de la gravedad de los indicadores de siniestralidad.

Expansión de la Madurez Normativa y Control del Riesgo por Sitios

El despliegue de estas acciones asertivas se ve reflejado y validado externamente por la evolución de las Certificaciones Vigentes, las cuales aumentaron globalmente en un 38.8%, alcanzando los 68 sitios certificados en 2026.

Gestión Integrada de Riesgos (ISO 45001/14001): La base de la pirámide preventiva se expandió con celeridad al pasar de 27 a 32 sitios certificados bajo estas normas internacionales. Esto demuestra que los nuevos recursos dispuestos fueron capaces de estandarizar procesos e implantar de manera homogénea el Sistema de Gestión Integrado en nuevas unidades de negocio o plantas operativas.

Sostenibilidad y Eficiencia (ISO 50001): Destaca exponencialmente el crecimiento de sitios certificados en Gestión de la Energía, multiplicándose por seis (de 1 a 6 sitios en 2026). Este hito subraya que el área SGI trascendió la seguridad física tradicional, vinculando la mitigación del riesgo industrial con la eficiencia y la reducción de impactos ambientales críticos.

Cumplimiento Sectorial Avanzado (CIAFA): El incremento constante de certificaciones CIAFA (de 16 a 24 sitios) denota un blindaje en el cumplimiento normativo específico y de manejo seguro de productos, reduciendo la probabilidad de eventos catastróficos o emergencias químicas que afecten los índices de siniestralidad global.

En síntesis, la evidencia empírica analizada en este periodo confirma la hipótesis del estudio: la reducción de los índices de siniestralidad está unida de forma causal a una inversión inteligente en la estructura de gestión. El diagnóstico temprano no se limitó a añadir personal de campo; permitió diseñar una estructura balanceada (técnica, de gestión y médica) capaz de absorber las demandas de un crecimiento corporativo acelerado (medido en cantidad de sitios certificados). El binomio "Estructura Especializada + Estandarización Normativa" se consolida así como la respuesta asertiva para la sostenibilidad del negocio y la protección del capital humano hacia el cierre de 2026.

E. El Cierre Formal: Hipótesis y Objetivos Clarificados

Para dar respuesta a estas problemáticas concurrentes, este trabajo evalúa el impacto de la implementación de un Modelo de Gestión Integral de SST en una cooperativa agroindustrial durante un periodo de tres años (2023-2026).

La hipótesis central de la investigación determina que un modelo que articule la analítica de datos en tiempo real con auditorías masivas de riesgos críticos en terreno y la capacitación formal de los mandos medios, genera una reducción estadísticamente significativa y sostenible de los índices de siniestralidad general, quebrando la tendencia alcista regional de los accidentes en trayecto.

Consecuentemente, el objetivo principal es validar la efectividad operativa de este modelo en una organización compleja. Los objetivos secundarios comprenden:

a) diseñar tableros dinámicos de analítica para el monitoreo predictivo por unidad de negocio,

b) estandarizar el control de condiciones subestándar en los CDC mediante una red de auditores técnicos, y

c) mitigar la frecuencia de siniestros viales en trayecto.

2. Metodología

La presente investigación adopta un diseño de estudio de caso de carácter longitudinal, de tipo descriptivo y analítico, desarrollado en una ventana temporal de tres años (2023-2026). El propósito metodológico es evaluar la efectividad de un Modelo de Gestión Integral de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) frente a una tendencia de desvío desfavorable en las tasas de siniestralidad detectada durante el período de diagnóstico 2022-2023.

Ámbito, Entorno de Aplicación y Criterios de Selección

El estudio se llevó a cabo en la infraestructura operativa de la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA), una red agroindustrial de segundo grado que consolida a más de 140 cooperativas y 50.000 productores en la República Argentina. Debido a la alta dispersión geográfica y la compleja matriz de riesgo del sector (almacenamiento en silos, trabajos en espacios confinados, manipulación de cargas masivas y uso de maquinaria pesada), se definieron criterios de inclusión técnica para priorizar las unidades de intervención.

A través de un diagnóstico integral inicial, se seleccionaron como nodos críticos prioritarios de estudio:

Las plantas industriales principales (producción de agroinsumos y nutrición animal).

Una terminal portuaria clave y estratégica para la agroexportación.

La red de Centros de Desarrollo Cooperativo (CDC) dedicados al acopio, acondicionamiento y logística de granos en el interior del país, que presentaban la mayor fragmentación de supervisión corporativa.



Figura 1. Distribución Provincial CDC y Nodos de ACA (Estudio de caso 2023-2025)



Figura 2. Mapa Regional de Sitios Críticos de ACA y Nodos Agroexportadores (Estudio de caso 2023-2025)

Herramientas de Recolección de Datos y Consideraciones Éticas

La recolección de datos se estructuró de manera integrada mediante sistemas informáticos internos de reporte de accidentes y un exhaustivo relevamiento de condiciones operativas en terreno. Los datos se anonimizaron bajo estrictas consideraciones éticas corporativas; la participación del personal en las capacitaciones y el registro de la información de siniestros in itinere se gestionaron garantizando la confidencialidad de la identidad de los trabajadores y el consentimiento institucional para fines exclusivamente académicos y preventivos.

Fases de la Intervención Operativa

El modelo metodológico se desplegó a través de tres ejes técnico-operativos complementarios:

Analítica de Datos (Data-driven Safety): Consistió en el diseño e implementación de arquitecturas de datos en tiempo real mediante tableros dinámicos de Business Intelligence (BI). Estos tableros sustituyeron el enfoque exclusivo en indicadores reactivos (lagging indicators) por métricas de monitoreo dinámico, segmentando nominalmente el comportamiento de la accidentabilidad por unidades de negocio, regiones y establecimientos específicos para conferir asertividad estratégica.

Intervención Técnica, Reestructuración y Capacitación: Tras un rediseño del organigrama corporativo que dotó de mayor autonomía, jerarquía e interdependencia al área de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), se ejecutaron dos líneas formativas quirúrgicas:

Mandos Medios: Programas de formación formal en liderazgo preventivo y clima de seguridad para supervisores de línea en las plantas principales, reforzando su rol como filtro interpretativo de los protocolos de seguridad.

Planes de Movilidad Segura: Campañas específicas de manejo defensivo orientadas quirúrgicamente a conductores de motocicletas laborales, mitigando el vector externo de siniestros in itinere en zonas periféricas y rurales.

Control de Riesgos Críticos en Terreno: Implementación de auditorías masivas de condiciones subestándar a través del despliegue de una red de auditores técnicos en los Centros de Desarrollo Cooperativo (CDC). Estas inspecciones priorizaron de manera estricta la jerarquía de controles, haciendo especial énfasis en la corrección de barreras de ingeniería y adecuaciones técnicas de la infraestructura con alto potencial de daño severo (hi-po).

Desarrollo, Validación y Alcance de la Herramienta de Relevamiento (CDC)

Con el propósito de estandarizar el diagnóstico operativo y mitigar la fragmentación de criterios en terreno, se diseñó una herramienta específica de auditoría técnica que no fue un instrumento estático, sino el resultado de un proceso de desarrollo colaborativo. El diseño inicial de la matriz de evaluación involucró activamente a profesionales y técnicos de seguridad con experiencia en el terreno, garantizando que los indicadores estuvieran alineados con la realidad operativa rural.

Esta herramienta metodológica se sometió a una fase previa de validación mediante una prueba piloto aplicada en una muestra seleccionada de Centros de Desarrollo Cooperativo (CDC). Tras ajustar y consolidar la versión final del instrumento, el modelo se escaló y masificó de forma homogénea al resto de la red federal de acopios.

Estructuralmente, la herramienta guió el relevamiento físico bajo una matriz multidimensional que evaluó tres grandes ejes integrados:

Procesos Relevados: Auditoría sistemática de los flujos operativos clave del acopio, incluyendo Balanza-Calada, Volcables, Secadora, Almacenamiento y Transporte, Descarga-Despacho, Fertilizantes Sólidos y Líquidos, Depósito de Insumos, Agroservice, además de las instancias de Capacitación y control de EPP-EPC.

Factores de Riesgo e Infraestructura: Inspección rigurosa de condiciones críticas como Resguardos, Caídas de altura, Riesgo Eléctrico, Orden y Limpieza, Incendio y Explosión, Señalización, Cintas, Silos, Estado de válvulas/bombas, Derrames, Cámaras de contención, Duchas/lavaojos y sistemas de Puesta a tierra.

Equipos de Emergencia, Bloqueo y Formación: Verificación del estado y disponibilidad de recursos de seguridad críticos tales como Extintores, Oxímetros, Arneses de cuerpo entero,

Sogas "caran" - T4, Equipos de comunicación, Sistemas de bloqueo de energía y la consistencia del Plan Anual de Capacitación.

Auditoría de Madurez Normativa y Escalabilidad de la Estructura (SHYMA/SGI): Para sustentar el crecimiento operativo y asegurar la adopción homogénea de las políticas de seguridad, se implementó un sistema de seguimiento cronológico (2023-2026) del nivel de competencias y dimensión del equipo de SST. Las intervenciones se clasificaron en tres células: técnica (Internos SHYMA/SGI), operativa de campo (Externos SHYMA) y de vigilancia epidemiológica (Externos Médicos). En paralelo, se documentó el proceso de certificación progresiva de los establecimientos bajo estándares internacionales (ISO 45001, ISO 14001, ISO 9001, ISO 50001) y sectoriales (CIAFA) como indicador de la madurez del sistema de gestión corporativo.

Análisis Estadístico

El procesamiento, análisis y visualización de la información de siniestralidad se realizó mediante un software corporativo de Business Intelligence (BI), el cual fue complementado con herramientas de análisis estadístico para el cálculo de la significancia. Se evaluó de manera cuantitativa el comportamiento del número de eventos, así como de los índices de accidentes de trabajo, enfermedades profesionales e incidentes in itinere, antes y después de los tres años de intervención. El análisis cuantitativo se centró en la evaluación de tendencias longitudinales, tasas de variación porcentual acumulada e indicadores de incidencia. Para determinar el impacto del modelo, se contrastó el comportamiento de la siniestralidad del trienio de intervención contra la línea de base histórica (2022-2023) , correlacionando de forma directa la inversión de recursos preventivos con la variación de los índices operacionales ."

Asimismo, para el análisis multidimensional de la estructura organizativa y la madurez normativa, se utilizaron indicadores de evolución temporal y tasas de variación porcentual acumulada e interanual (periodo 2023-2026). Estas variables se correlacionaron de forma cuali-cuantitativa con la tendencia de reducción de la siniestralidad general y la contracción de jornadas perdidas (Días ILT), evaluando si el robustecimiento del ecosistema humano y el cumplimiento normativo actuaron como variables predictoras o sinérgicas en la mitigación del riesgo industrial.

Nota metodológica sobre el alcance temporal:

Con el propósito de garantizar la fiabilidad del análisis estadístico, las variables de siniestralidad, jornadas perdidas e índices de incidencia se procesaron sobre el periodo trienal consolidado 2023-2025. Por su parte, las variables de madurez institucional (dotación del equipo SHYMA/SGI y certificaciones de sitios) incorporan los datos del año 2026, reflejando la continuidad operativa del modelo y la sustentabilidad de las acciones en el año en curso.

3. Resultados y discusión de resultados

Analítica de Datos y Concentración del Riesgo Operativo

Los datos consolidados a través de la plataforma corporativa de Business Intelligence (BI) permitieron identificar con precisión matemática la distribución y los nodos críticos de la accidentabilidad dentro de la organización:

Distribución de la Siniestralidad por Nómina: Se constató que el 70% de la siniestralidad general se concentró exactamente en el 70% de la nómina total de la compañía.

Identificación de Focos Críticos Industriales: Un bloque compuesto por cuatro grandes establecimientos operacionales (Puerto San Lorenzo, Planta Pergamino, Planta Campana y Planta San Nicolás) acumuló el 35% de la siniestralidad total de la empresa.

Siniestralidad en la Red de Acopios: Los Centros de Desarrollo Cooperativo (CDC) registraron de manera agregada el 34% de los eventos de la organización.

Concentración Agregada: Al evaluar en conjunto ambos frentes operativos (las 4 plantas críticas y la red de CDC), se determinó técnicamente la concentración del 69% de los eventos de siniestralidad total de la compañía.

Discusión: Analítica de Datos y Transición hacia la Proactividad Operativa

La identificación exacta de que el 69% de las contingencias totales se concentraba de forma crítica en solo cuatro establecimientos industriales y la red de CDC valida la utilidad de las arquitecturas de datos basadas en BI. Tradicionalmente, la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) ha dependido de métricas retrospectivas o lagging indicators, los cuales adolecen de un "sesgo de rezago" que invisibiliza el riesgo latente hasta la consumación del daño.

Los hallazgos demuestran que la transición hacia una gobernanza analítica (data-driven safety) optimiza la toma de decisiones estratégicas. Migrar desde indicadores reactivos hacia sistemas de monitoreo dinámicos refina la proactividad institucional y confiere una mayor asertividad en la asignación de recursos técnicos. Asimismo, la disponibilidad de tableros centralizados de BI permitió mitigar los efectos de la descentralización corporativa, validando que la democratización y visibilidad del dato en tiempo real reduce críticamente la brecha de respuesta operativa en organizaciones con una alta dispersión geográfica.

Balance de Ejecución del Plan de Capacitación en Mandos Medios

Los indicadores de desempeño final y volumen de personal alcanzado al corte del 03.09 reflejan las siguientes métricas de ejecución del plan formativo dirigido al factor humano sub-directivo:

Personal Operativo Alcanzado: Un total de 150 colaboradores completaron las actividades formativas, perteneciendo en su mayoría a mandos medios (supervisores, jefes de planta y líderes de línea).

Eventos de Formación: Se coordinaron y ejecutaron 15 eventos de capacitación independientes, adaptados a los turnos operativos de las plantas.

Inversión Horaria: Se registraron 30 horas totales dedicadas a la instrucción teórica y práctica en liderazgo seguro, gestión del riesgo y autodiagnóstico en terreno.

Discusión: El Mando Medio como Filtro del Clima de Seguridad

El éxito del plan formativo —institucionalizado bajo el Programa de Líderes en Prevención— dirigido a 150 colaboradores constituyó un pilar indispensable para quebrar la inercia del desvío siniestral. Desde una perspectiva teórica, este resultado encuentra una sólida correspondencia con el modelo de Clima de Seguridad de Zohar (2010), el cual postula que los mandos medios operan como el verdadero "filtro interpretativo" de las políticas organizacionales en el terreno : la conducta preventiva del operario no se regula por los manuales corporativos estáticos, sino por las prioridades reales que el supervisor demuestra en el día a día operativo.

La reestructuración del organigrama corporativo de la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA), que dotó al equipo de SST de mayor autonomía y jerarquía, facilitó que los supervisores de las plantas críticas adoptaran un rol de coliderazgo preventivo. Este fenómeno coincide con entornos industriales mixtos, confirmando que el fortalecimiento institucional del área de seguridad y el empoderamiento técnico de la línea de supervisión son prerrequisitos mandatorios para sostener las mejoras conductuales a largo plazo.

Alcance de Cobertura Federal y Diagnóstico de Campo en la Red de CDC

El despliegue territorial destinado al relevamiento físico de las condiciones edilicias y operativas en las unidades periféricas descentralizadas acumuló un total de 18 horas netas de trabajo de campo. Las auditorías presenciales se ejecutaron de manera simultánea en 7 provincias de la República Argentina (Buenos Aires, Santa Fe, Córdoba, Entre Ríos, Santiago del Estero, Chaco y La Pampa), arrojando los siguientes indicadores:

Indicador Operativo	Valor Registrado	Porcentaje / Condición
Universo Total de la Red de CDC	63 centros	100%
Centros Auditados Físicamente	61 centros	-
Efectividad de Cobertura Territorial	-	97% del total de la red
Auditores Técnicos Ext (ATE) ART	13 profesionales	Despliegue en terreno

Nota: Datos basados estrictamente en los registros consolidados del relevamiento técnico realizado en terreno.

Las inspecciones físicas dieron como resultado la detección e indexación de hallazgos de desvíos o condiciones subestándar, clasificadas según su nivel de criticidad:

Alta Prioridad (Planes de adecuación urgentes / Alto potencial de daño): 44,9% de los hallazgos, equivalente a condiciones críticas detectadas e integradas en los planes de adecuación técnica.

Media Prioridad (Gestión preventiva / Condiciones subestándar menores): 55,1% de los hallazgos, correspondiente a condiciones de mantenimiento y orden.

Discusión: Control de Riesgos Críticos en la Red Descentralizada (CDC)

El despliegue federal de 13 Auditores Técnicos Externos (ATE) provistos por la ART permitió alcanzar una efectividad de cobertura del 97% de la red de acopios. El relevamiento físico priorizó de forma estricta la jerarquía de controles al identificar un 44,9% de condiciones con alto potencial de daño severo (hi-po), como deficiencias en silos o espacios confinados.

Este enfoque de control basado en la ingeniería y la adecuación de la infraestructura, en lugar de la penalización conductual, se alinea estrictamente con los postulados de la Seguridad-II de Hollnagel (2014). En vez de centrar los esfuerzos en corregir desvíos menores del personal, el modelo intervino sobre las barreras sistémicas y de diseño del entorno agroindustrial. Al corregir de manera urgente los hallazgos de alta prioridad, se evitó la concatenación de fallas organizacionales que (según el modelo de James Reason) conducen a catástrofes operacionales , demostrando que la estandarización presencial y centralizada es indispensable para corregir la laxitud operativa propia de los modelos cooperativos dispersos.

Robustecimiento Estructural y Madurez Normativa (2023-2026)

La mejora de los indicadores preventivos coexistió con una inversión planificada y un robustecimiento continuo de la estructura humana del área de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), así como una expansión de los sitios certificados:

Evolución de la Estructura Humana SHYMA/SGI

Célula de la Estructura	2023	2024	2025	2026
Internos SHYMA y SGI	26	27	33	45
Externos SHYMA	19	20	20	21

Célula de la Estructura	2023	2024	2025	2026
Externos Médicos	11	11	12	22
TOTAL ESTRUCTURA	56	58	65	88

La estructura humana total se incrementó en un 57,1% entre 2023 y 2026 (pasando de 56 a 88 profesionales). El personal técnico propio (Internos SHYMA y SGI) creció un 73,1%, mientras que el de Externos Médicos se duplicó (crecimiento del 100%, pasando de 11 a 22 profesionales), concentrándose este repunte de vigilancia epidemiológica activa entre los años 2025 y 2026.

Certificaciones Vigentes (En establecimientos)

Norma / Estándar Regulatorio	2023	2024	2025	2026
ISO 45001/14001 (Salud, Seguridad y Ambiente)	27	31	31	32
ISO 9001 (Calidad)	5	5	5	6
ISO 50001 (Gestión de la Energía)	1	2	2	6
CIAFA (Cumplimiento Sectorial Avanzado)	16	18	20	24
TOTAL CERTIFICACIONES VIGENTES	49	56	58	68

Las certificaciones bajo control normativo externo aumentaron globalmente un 38,8%, proyectando alcanzar las 68 certificaciones para finales de 2026 en comparación con las 49 iniciales de 2023. Destaca el avance progresivo de la norma ISO 45001/14001 (estimando llegar a 32 sitios) y el notable incremento de ISO 50001, que se multiplicará por seis al pasar de 1 a 6 establecimientos. Asimismo, se observa una tendencia al alza en las certificaciones específicas de CIAFA, previendo alcanzar las 24 unidades al cierre del periodo.

Discusión: Correlación de la Estructura SHYMA/SGI y Madurez Normativa con la Siniestralidad

La evidencia empírica confirma que la mejora sustancial en los indicadores no se originó de manera aislada, sino como un impacto causal de la inversión inteligente en el ecosistema de gestión preventiva. El incremento del 57,1% de la estructura humana total y la duplicación del personal de Externos Médicos introdujeron un enfoque sólido de medicina del trabajo preventivo y vigilancia epidemiológica activa. Esta célula médica actuó de forma sinérgica con el equipo técnico para reducir las jornadas perdidas de ILT a partir de 2025, optimizando el retorno seguro al puesto laboral y conteniendo la gravedad de las bajas.

Este robustecimiento humano se ve validado externamente por el avance de la madurez normativa de la organización (incremento del 38,8% en los sitios certificados). La expansión de las certificaciones ISO 45001/14001 a 32 sitios demuestra la capacidad estructural instalada para homogeneizar procesos preventivos en terreno y romper la fragmentación operativa periférica. Por otro lado, el crecimiento exponencial de la certificación ISO 50001 (multiplicada por seis) y las normas sectoriales CIAFA (de 16 a 24 sitios) demuestran que el área SGI trascendió la seguridad física elemental hacia una Excelencia Operacional avanzada ; la vinculación directa entre el control de emergencias químicas, eficiencia energética e

infraestructura mitigó las probabilidades de fallas sistémicas mayores con potencialidad de alterar los índices de siniestralidad global. El binomio "Estructura Especializada + Estandarización Normativa" se consolida así como el pilar fundamental para la sostenibilidad preventiva del negocio.

Al corte de 2026, la expansión del equipo a 88 profesionales y el hito de alcanzar 68 sitios certificados demuestran que el modelo sigue en ejecución activa, blindando la operación frente a riesgos latentes incluso mientras se completan los ciclos cronológicos de monitoreo de tasas accidentológicas.

Mitigación de Riesgos Específicos de Siniestralidad Vial In Itinere

A partir del aislamiento analítico nominal de los datos del tablero de control, se implementó la campaña dirigida de Manejo Defensivo enfocada en la variable de siniestralidad en vía pública. La población objetivo se aisló de forma quirúrgica en las dos locaciones que registraban los desvíos históricos más severos en trayecto: Puerto San Lorenzo y Planta Pergamino, enfocándose las acciones formativas en los usuarios de motocicletas dentro de la nómina de dichos establecimientos.

Discusión: Mitigación del Vector Externo

Uno de los hitos más destacados de la intervención fue la reducción del 29,2% en los accidentes in itinere (de 24 a 17 casos), manteniendo a la empresa un 55,6% por debajo de la referencia oficial de la SRT para el año 2025 (6,12 vs. 13,8). A nivel regional, los informes de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2022) sitúan a los siniestros viales en motocicleta como una epidemia incontrolada y como la primera causa de muerte laboral en trabajadores jóvenes en América Latina, catalizada por la precariedad estructural de la infraestructura vial de las comunidades agrícolas.

La divergencia positiva lograda por ACA demuestra que las intervenciones focalizadas en la vía pública no deben considerarse ajenas al control corporativo. Al aislar analíticamente mediante los tableros de BI que Puerto San Lorenzo y Planta Pergamino eran los nodos críticos para este vector de riesgo, el diseño quirúrgico de planes de movilidad segura y capacitación en manejo defensivo logró neutralizar variables de vulnerabilidad externa. Esto confirma que los programas empresariales de seguridad vial, coordinados con datos de alta fidelidad, son herramientas altamente eficaces para contener siniestros que la literatura tradicional suele catalogar erróneamente como inevitables debido al entorno rural periférico.

Evolución del Comportamiento de las Variables Siniestrales (Trienio 2023-2025)

Los datos cuantitativos de las contingencias aceptadas, jornadas perdidas e índices de incidencia reflejan el impacto directo del modelo implementado:

Estadísticas Generales de Siniestralidad e Incapacidad Laboral

Variable Operativa / Año	2023	2024	2025
Trabajadores Promedio	2.687	2.783	2.776
Siniestros Aceptados (Total Absoluto)	142	120	94
Accidentes de Trabajo (T)	98	87	65
Enfermedades Profesionales (P)	20	15	12
Accidentes In Itinere (I)	24	18	17

Variable Operativa / Año	2023	2024	2025
Días de Incapacidad Laboral Temporaria (ILT)	4,6 mil	4,6 mil	2,8 mil

Análisis de Tendencias y Variaciones Porcentuales (2023 vs. 2025)

Al contrastar el período base 2023 con el cierre del período de intervención 2025, el volumen absoluto de contingencias consolidadas registró las siguientes variaciones numéricas:

Siniestros Aceptados Totales: Se constató una reducción absoluta de 48 siniestros (de 142 a 94 casos), representando una disminución porcentual del 33,8% en la ocurrencia global de siniestros.

Accidentes de Trabajo (T): Esta variable presentó el mayor descenso en valores absolutos con 33 casos menos (de 98 en 2023 a 65 en 2025), equivalentes a una baja del 33,7%.

Enfermedades Profesionales (P): Se observó una reducción de 8 casos en la ventana temporal analizada (de 20 a 12 casos), significando un descenso del 40,0%.

Accidentes In Itinere (I): Los eventos viales en trayecto decrecieron en 7 casos absolutos (de 24 iniciales a 17 en el último año), consolidando una reducción porcentual del 29,2%.

Contracción de Jornadas Perdidas (Días ILT): La variable reflejó una meseta de estabilidad entre los años 2023 y 2024, manteniéndose fija en 4,6 mil días en ambos períodos. No obstante, al comparar el registro de 2024 contra el cierre de 2025 (2,8 mil días), se constató una reducción absoluta de 1,8 mil días de baja laboral, lo que equivale a una contracción neta del 39,1% en la gravedad acumulada de los siniestros durante el último año de la intervención.

Comportamiento de Índices de Incidencia frente a Referencias de la SRT

La evolución de las tasas de incidencia de la organización en comparación con los índices de referencia oficiales provistos por la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) demuestra un ensanchamiento progresivo de la brecha de seguridad a favor de la empresa:

Índice de Incidencia Global:

Año 2023: Empresa 48,38 frente a una Referencia SRT de 53,9 (10,2% por debajo del indicador oficial).

Año 2024: Empresa 40,60 frente a una Referencia SRT de 49,2 (17,5% por debajo del indicador oficial).

Año 2025: Empresa 29,90 frente a una Referencia SRT de 49,2 (39,2% por debajo de la referencia de la actividad).

Índice de Incidencia de Accidentes de Trabajo y Enfermedades Profesionales (AT/EP):

Año 2023: Empresa 39,45 frente a una Referencia SRT de 40,9 (3,5% por debajo).

Año 2024: Empresa 34,14 frente a una Referencia SRT de 36,9 (7,5% por debajo).

Año 2025: Empresa 23,78 frente a una Referencia SRT de 36,9 (35,6% por debajo del indicador oficial).

Índice de Incidencia de Accidentes In Itinere (AI):

Año 2023: Empresa 8,93 frente a una Referencia SRT AI de 13,8.

Año 2024: Empresa 6,47 frente a una Referencia SRT AI de 13,8.

Año 2025: Empresa 6,12 frente a una Referencia SRT AI de 13,8.

Discusión General del Modelo de Gestión

La evaluación del Modelo de Gestión Integral de SST implementado en la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) durante el periodo 2023-2025 demuestra una efectividad operativa robusta para revertir el desvío desfavorable detectado en el diagnóstico preintervención (2022-2023). La reducción del 33,8% en la siniestralidad general y la contracción del 39,1% en las jornadas perdidas por ILT en el último año confirman la hipótesis central de esta investigación : la articulación de la analítica de datos en tiempo real con auditorías masivas de riesgos críticos en terreno y la formación de los mandos medios quiebra de manera sostenible las tendencias alcistas de accidentabilidad en organizaciones agroindustriales comple.

Fortalezas y Limitaciones Metodológicas

Entre las fortalezas sobresalientes de esta investigación se destacan:

El diseño longitudinal de tres años (2023-2025) que proporciona una perspectiva robusta del cambio cultural e infraestructural, superando las limitaciones de los estudios de corte transversal.

El tamaño de la muestra y el alcance geográfico-federal (más de 2.700 trabajadores promedio y auditorías presenciales simultáneas en 7 provincias).

La integración exitosa de herramientas analíticas de Business Intelligence directamente ligadas a la toma de decisiones técnicas de campo.

Por otra parte, se deben reconocer con prudencia ciertas limitaciones:

Sesgo de subregistro inicial: El proceso de diagnóstico en el periodo de desvío (2022-2023) coexistió con una marcada fragmentación operativa, lo que pudo haber generado un subregistro de incidentes menores en los CDC periféricos antes de la estandarización analítica.

Maduración de datos externos: La reducción en los índices in itinere podría estar influenciada, de manera marginal, por controles de tránsito municipales o mejoras viales locales no controladas en el diseño del estudio durante el trienio analizado.

Proyección Estratégica (Hacia el Horizonte 2026)

Como se esboza en las directrices de la organización, de cara al año 2026 el modelo escalará hacia la incorporación de tecnologías de la Industria 4.0 para consolidar la estandarización alcanzada. La adopción proyectada de Inteligencia Artificial (IA) para la evaluación ergonómica automatizada y de Realidad Virtual (VR) para la simulación de escenarios de riesgo crítico responde a vectores ya validados por la literatura científica de vanguardia.

Estudios contemporáneos demuestran que los algoritmos de aprendizaje automático aplicados a la SST eliminan la subjetividad y los sesgos humanos en la identificación predictiva de riesgos de accidentes. De manera complementaria, investigaciones experimentales en neurociencia y aprendizaje organizacional comprueban que el entrenamiento mediante Realidad Virtual incrementa significativamente la retención de protocolos de emergencia y la transferencia de habilidades críticas frente a los soportes andragógicos tradicionales de diapositivas estáticas. Estas implementaciones tecnológicas, respaldadas por el compromiso continuo de la alta dirección de la cooperativa, proyectan el modelo de ACA hacia un estándar predictivo avanzado de seguridad industrial en la región.

4. Conclusiones

La implementación del Modelo de Gestión Integral de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) en la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) durante el trienio 2023-2025 demuestra que la convergencia entre la analítica de datos (data-driven safety) y la intervención técnica focalizada en el terreno es una estrategia altamente efectiva para mitigar el riesgo operacional y revertir tendencias desfavorables de siniestralidad en organizaciones agroindustriales complejas. Al cierre del periodo de estudio, la validación del modelo arrojó una respuesta contundente a cada uno de los objetivos planteados:

Validación de la Efectividad del Modelo: Se cumplió plenamente el objetivo principal al demostrar una reducción del 33,8% en la siniestralidad global (pasando de 142 a 94 casos absolutos) y una contracción del 39,1% en las jornadas perdidas o días ILT. Estos indicadores validan de manera concluyente la hipótesis central a través de la evidencia empírica : se demuestra que es posible quebrar la inercia de la accidentabilidad industrial mediante un enfoque sistémico, proactivo y respaldado por una fuerte inversión en la estructura de gestión y adecuación técnica en terreno.

Monitoreo Predictivo mediante Analítica (Objetivo A): La sustitución del enfoque reactivo tradicional por tableros dinámicos de Business Intelligence (BI) permitió aislar con precisión matemática los focos críticos del negocio. Se constató que el 69% de las contingencias totales se concentraban en un bloque de cuatro plantas industriales y en la red de acopios descentralizados, confiriendo una asertividad inédita en la asignación de recursos corporativos.

Estandarización del Control de Riesgos Críticos en Terreno (Objetivo B): El despliegue de una red de auditores técnicos externos logró una cobertura del 97% de los Centros de Desarrollo Cooperativo (CDC) a lo largo de 7 provincias. El relevamiento físico e indexación de hallazgos facilitó la aplicación estricta de la jerarquía de controles sobre las barreras de ingeniería e infraestructura, superando la fragmentación operativa característica del modelo cooperativo descentralizado.

Mitigación de la Siniestralidad Vial In Itinere (Objetivo C): Mediante programas quirúrgicos de movilidad segura y manejo defensivo dirigidos a los usuarios de motocicletas en las locaciones de mayor desvío analítico (Puerto San Lorenzo y Planta Pergamino), se logró una disminución del 29,2% en los accidentes de trayecto. Este hito posicionó a la organización un 39,2% por debajo de los índices de referencia de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT) para el año 2025.

A este éxito preventivo se suma la consolidación de la madurez institucional de la empresa de cara al horizonte de 2026, demostrando que la sostenibilidad operativa requiere de una organización balanceada. El robustecimiento en un 57,1% de la estructura humana de SHYMA/SGI (alcanzando 88 profesionales) , la duplicación estratégica del personal médico externo para vigilancia epidemiológica activa y la expansión del 38,8% en las certificaciones de sitios (68 plantas y nodos bajo normas ISO 45001/14001, ISO 50001 y CIAFA) validan empíricamente que el binomio "Estructura Especializada + Estandarización Normativa" es la respuesta asertiva para la protección del capital humano y la Excelencia Operacional en el largo plazo.

En conclusión, este trabajo contribuye de manera práctica a la literatura de SST al ofrecer un marco de gobernanza reproducible para sectores con alta dispersión geográfica y baja digitalización inicial. El empoderamiento de los mandos medios como verdaderos dinamizadores del clima de seguridad, respaldado por una reestructuración orgánica que otorgó jerarquía y autonomía al área de SST, demuestra que la sostenibilidad operativa no depende de la penalización conductual, sino del diseño sistémico de entornos seguros y de la democratización de la información en tiempo real.

Futuras Líneas de Investigación

Para consolidar la estandarización alcanzada y proyectar el modelo hacia el horizonte 2026, se proponen las siguientes líneas de investigación y desarrollo técnico:

Integración de Inteligencia Artificial (IA) en Ergonomía: Investigar la efectividad de algoritmos de aprendizaje automático aplicados al procesamiento de imágenes en tiempo real para automatizar las evaluaciones ergonómicas en puestos de manipulación de cargas masivas, eliminando los sesgos humanos de la observación analógica.

Capacitación Inmersiva mediante Realidad Virtual (VR): Evaluar de forma cuantitativa la tasa de retención de protocolos de emergencia y transferencia de habilidades críticas mediante simulaciones de VR en escenarios de alto potencial de daño (como el ingreso a silos y trabajos en espacios confinados), contrastando su impacto frente a los métodos andragógicos tradicionales de aula.

Modelos Predictivos de Siniestralidad Vial: Desarrollar arquitecturas de datos que incorporen variables externas (tales como meteorología rural en tiempo real, condiciones de rutas periféricas y flujos de tránsito de cosecha pesada) para transicionar desde planes de movilidad reactivos hacia alertas predictivas de riesgo in itinere para la nómina de motovehículos.

Continuidad y Escalabilidad del Programa de Líderes en Prevención: Profundizar y extender la implementación del programa formativo de Líderes en Prevención hacia nuevos estratos de mandos medios (supervisores, jefes de planta y líderes de línea) tanto en los nodos críticos ya intervenidos como en el resto de los establecimientos y Centros de Desarrollo Cooperativo (CDC) de la red federal. Futuras investigaciones deberán evaluar de manera longitudinal el impacto de esta capacitación continua en la consolidación de conductas seguras en la línea operativa, analizando cómo el empoderamiento y la asignación de roles proactivos a la supervisión logran estabilizar el clima de seguridad a largo plazo y mitigar la brecha generada por la dispersión geográfica en el modelo cooperativo.

Finalmente, el estado del arte del modelo al año 2026 valida que la organización ha transicionado con éxito de una gestión reactiva a una estrategia proactiva de Excelencia Operacional. La robustez actual de las células técnicas y médicas y el sostenido avance en normas internacionales (ISO 45001/14001, 50001 y CIAFA) sitúan a la organización en una posición óptima de madurez, transformando las acciones en curso en la plataforma fundacional para las proyecciones tecnológicas de la Industria 4.0.

Agradecimientos

A la Asociación de Cooperativas Argentinas (ACA) por abrir las puertas de su estructura federal, permitiendo el acceso a sus Centros de Desarrollo Cooperativo (CDC), terminales portuarias y plantas industriales ; su firme compromiso institucional con la seguridad y la transformación hacia una gobernanza basada en datos fue el motor indispensable para la viabilidad de este estudio longitudinal.

A LA SEGUNDA ART SA , por su invaluable acompañamiento institucional y el constante soporte técnico brindado a lo largo de este proyecto; se agradece de manera especial el compromiso de su estructura corporativa y el despliegue de sus especialistas en gestión de riesgos en las distintas provincias , lo cual facilitó las herramientas metodológicas y el marco estratégico necesarios para consolidar el diagnóstico, robustecer la indexación de indicadores críticos y hacer posible el desarrollo exitoso de esta investigación.

Asimismo, hacemos extensivo este reconocimiento a los mandos medios —supervisores, jefes de planta y líderes de línea— y al personal operativo de los establecimientos críticos analizados, particularmente en Puerto San Lorenzo, Planta Pergamino, Planta Campana y

Planta San Nicolás ; su participación activa en los programas de formación y su rol diario como dinamizadores del clima de seguridad en la línea operativa transformaron los lineamientos teóricos en barreras reales y eficientes de prevención.

Finalmente, agradecemos a los equipos técnicos y médicos de la estructura SHYMA/SGI ; su dedicación en la vigilancia epidemiológica, la homologación de variables siniestrales y el sostenido avance hacia la excelencia operacional normada constituyeron el pilar fundamental para la protección del capital humano y el éxito preventivo documentado en este trabajo.

Bibliografía

Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (2021). Informes consolidados sobre siniestralidad y seguridad operacional en la agricultura y la industria mixta global. Ginebra: OIT.

Organización Panamericana de la Salud [OPS]. (2022). Siniestralidad vial in itinere y su impacto en la salud pública de los trabajadores jóvenes en América Latina. Washington, D.C.: OPS.

Superintendencia de Riesgos del Trabajo [SRT]. (2023, 2024, 2025). Estadísticas e índices oficiales de referencia para la actividad agroindustrial y logística. Buenos Aires: Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social.

Al-Kaisy, A., et al. (2020). Analysis of rural road infrastructure precariousness and its direct correlation with motorcycle commuter crashes. Journal of Safety Research, 74, 112-125.

García-Ramos, J., et al. (2020). Epidemiological study of high-potential damage (hi-po) incidents in grain storage facilities and milling lines. Safety Science, 128, 104-115.

Grassini, S. (2022). Experimental research in neuroscience and organizational learning: Immersive Virtual Reality (VR) vs. traditional andragogic methods in emergency protocol retention. Frontiers in Psychology, 13, 895-908.

Hollnagel, E. (2014). Safety-II in Practice: Developing the Assurance of Harmony. London: Routledge.

Luria, G. (2019). Safety Climate and the role of line supervisors as interpretative filters in mixed industrial environments. Occupational Health Science, 3(2), 145-162.

Nævestad, T. O., et al. (2018). Mitigating corporate decentralization effects: The impact of real-time data visibility on the operational response gap. Accident Analysis & Prevention, 119, 230-241.

Reason, J. (2016). Managing the Risks of Organizational Accidents (2nd ed.). London: Routledge.

Sanni-Anibire, M. O., et al. (2020). Machine Learning algorithms applied to Occupational Health and Safety: Eliminating human subjectivity in predictive risk identification. Automation in Construction, 115, 103-116.

Sgourou, E., et al. (2015). From reactive to proactive: Defining dynamic monitoring systems to refine institutional proactivity in safety management. Reliability Engineering & System Safety, 142, 348-359.

Sinelnikov, S., et al. (2015). The lag bias of metrics: A critical review on the validity of lagging indicators in active risk conditions. Safety Science, 72, 210-219.

Smith, J., & Davis, M. (2022). Logistics and OHS in cooperative governance models: Geographic dispersion and the fragmentation of corporate supervision. International Journal of Workplace Health Management, 15(4), 412-428.

Wang, J., et al. (2021). Industry 4.0 and Business Intelligence architectures for production process optimization and risk mitigation. International Journal of Production Economics, 233, 107-120.

Zohar, D. (2010). Thirty years of safety climate research: Reflections and future directions. Accident Analysis & Prevention, 42(5), 1517-1522.

Transformación Cultural y Siniestralidad Cero: Liderazgo Participativo con la Generación Z en el Sector de Residuos Urbanos

Matias Jesús Marcelo Mercado [1]*.

[1]GRUPO RUZE.

*Autor de referencia: mati.cmahys@gmail.com

Abstract

El proyecto aborda la problemática de la siniestralidad laboral en el sector de recolección de residuos urbanos en Argentina mediante un enfoque de transformación cultural adaptado a trabajadores de la Generación Z (18 a 25 años). Ante la alta litigiosidad sistémica y un histórico de 116 siniestros en 2024, se implementó a partir de octubre de 2025 un modelo de liderazgo participativo y horizontal en conjunto con el sindicato, la aseguradora de riesgos del trabajo (ART) y los proveedores. A través de canales de retroalimentación inmediata (tecnología QR) y mesas de validación operativa lideradas por los propios operarios, se logró una reducción drástica a 63 siniestros al cierre de 2025 y un registro de solo 4 casos leves en el primer bimestre de 2026, lo que representa una baja del Índice de Incidencia al 1%, ubicándose un 75% por debajo de la media oficial de la Superintendencia de Riesgos del Trabajo (SRT).

Palabras Clave

GENERACION Z, GESTION DE RIESGOS, RESIDUOS URBANOS

1. Introducción

El sector de la recolección de residuos sólidos urbanos constituye un servicio esencial crítico para el sostenimiento sanitario y operativo de los centros urbanos. A pesar de su relevancia estructural, la actividad afronta una profunda problemática socio-laboral ligada a la invisibilización y estigmatización social del puesto. Esta percepción pública errónea, que asocia la tarea operativa a la ausencia de calificación técnica, genera conductas comunitarias de baja empatía (disposición inadecuada de desechos, exposición de elementos punzantes y omisión de distancias de seguridad respecto a las unidades de transporte), traduciéndose de manera directa en agresiones de terceros, accidentes viales por imprudencia y exposición a patógenos biológicos por fallas de segregación en origen.

En el contexto socioeconómico y legal de la República Argentina, caracterizado por una elevada tasa de litigiosidad laboral (comúnmente denominada "industria del juicio"), el diseño tradicional de los sistemas de gestión de higiene y seguridad ha resultado insuficiente para mitigar el riesgo de manera sostenible. Los enfoques basados en el mero cumplimiento documental no logran permear en las nuevas estructuras demográficas de la fuerza laboral operativa. Por consiguiente, el presente trabajo analiza la transición desde una gestión de seguridad imperativa y verticalista hacia un modelo de liderazgo participativo enfocado en el factor humano como eje central para la erradicación de los incidentes.

2. Metodología

La estrategia de transformación cultural e intervención operativa se implementó a partir de octubre de 2025, estructurándose sobre tres pilares metodológicos:

Gestión Adaptada al Perfil de la Generación Z (18 a 25 años)

El relevamiento del perfil demográfico de la planta operativa demostró una fuerte concentración de operarios nativos digitales pertenecientes a la Generación Z. Para subsanar la brecha comunicacional respecto a los métodos tradicionales de mando jerárquico, se adoptaron las siguientes herramientas:

Participación y Validación Activa: Ante la identificación estadística de que el 20,63% de las lesiones corporales del sector afectaban directamente a los dedos de las manos, se integró a los operarios en comités técnicos para validar la ergonomía de los guantes y las metodologías físicas de manipulación de bolsas y cajas, siendo este último el agente material presente en el 100% de los incidentes registrados durante 2026.

Desburocratización Digital: Se implementaron códigos QR en las unidades vehiculares vinculados a una plataforma interna, posibilitando el reporte inmediato de condiciones de riesgo y facilitando módulos formativos dinámicos bajo lógica de inmediatez.

Espacios de Comunicación Horizontal: Establecimiento de turnos estructurados de escucha activa entre las líneas de supervisión y el personal operativo para interceptar desviaciones conductuales antes de su manifestación accidental.

Articulación Estratégica Interinstitucional

El proceso metodológico requirió la incorporación del gremio sindical, los proveedores de elementos de protección personal (EPP) y la Aseguradora de Riesgos del Trabajo (ART) en una mesa de decisiones unificada:

Co-gestión del Cuidado: El sindicato intervino como canalizador del pulso de la planta, facilitando la aceptación cultural de los nuevos estándares de seguridad.

Acompañamiento Técnico y Humano: Se instauró un protocolo de presencia física de la Dirección y el sindicato ante la ocurrencia de contingencias. La contención inmediata disminuye la vulnerabilidad y la tendencia a la judicialización de siniestros leves.

Sostenibilidad y Mantenimiento de Activos a Corto y Mediano Plazo

El programa metodológico extendió su alcance hacia la optimización técnica de la flota mediante:

Monitoreo del Manejo Defensivo: Incorporación de sistemas de telemetría para evaluar el trato mecánico de las unidades vehiculares compactadoras, estructurando esquemas de reconocimiento al personal por el cuidado del activo.

Prevención de Fallas Ergonómicas: Planificación de mantenimientos preventivos rigurosos orientados a mitigar riesgos biológicos, mecánicos y de sobreesfuerzo asociados al deterioro de las unidades.

3. Resultados y discusión de resultados

Los indicadores estadísticos recopilados evidencian una modificación drástica de la tendencia histórica de accidentabilidad a partir del cambio metodológico de gestión en el último trimestre de 2025.

Durante el año 2024, bajo un esquema de gestión tradicional, la organización experimentó un pico crítico de 116 siniestros. La aplicación del liderazgo participativo permitió que el año 2025 cerrara con un consolidado de 63 siniestros totales, concentrándose la mejora en el primer bimestre del año 2026 con el registro de únicamente 4 casos clasificados como leves, tal como se sintetiza en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparativa del Índice de Siniestralidad según Modelo de Gestión

Periodo	Estado de Gestión	Índice de Incidencia (II)	Desviación vs. Media SRT (4,33%)
2024 / Med 2025	Gestión Tradicional	Cercano a la media general	Al límite normativo
Post-octubre 2025	Nuevo Liderazgo Participativo	Reducción al 1,00%	75,00% por debajo de la media

Fuente: Elaboración propia en base a registros internos y parámetros de la SRT (2026).

La reducción cuantitativa de la accidentabilidad —desde los picos históricos de 116 casos hacia una proyección mínima controlada en 2026— impacta directamente sobre la estructura de costos de no calidad de la organización, reduciendo significativamente las jornadas laborales perdidas y atenuando el riesgo de exposición financiera ante demandas judiciales por siniestros del trabajo.

A nivel cualitativo, se destaca el aumento en el sentido de pertenencia de los jóvenes de la Generación Z, quienes reposicionan su rol operativo vinculándolo al resguardo medioambiental, disminuyendo los índices internos de conflictividad.

4. Conclusiones

La transición hacia un modelo de liderazgo horizontal e interactivo demuestra que la reducción de la siniestralidad vial y operativa en sectores críticos no depende en exclusividad de la provisión de barreras físicas (como cascos o guantes), sino de la transformación de la cultura organizacional. Permitir que los operadores participen activamente en el rediseño de sus procedimientos operativos y epps convierte el error en una fuente de aprendizaje controlado.

Para garantizar la sustentabilidad temporal de estos logros, se concluye la necesidad de extender el proyecto hacia el ámbito civil mediante programas de concienciación en instituciones educativas, promoviendo la separación en origen de residuos peligrosos (vidrios y elementos punzantes). La educación de la comunidad transforma al ciudadano en un aliado preventivo estratégico, disminuyendo los riesgos biológicos en la vía pública y resguardando el activo más valioso de la organización: la integridad psicofísica de sus trabajadores.

Agradecimientos

Agradecimiento especial a mi mujer Nadia Terranova, mi madre, padre, Ricsma Consultores y Moscardini Broker.

Bibliografía

República Argentina. (1995, 23 de diciembre). Ley Nacional de Tránsito N.º 24.449. Boletín Oficial de la República Argentina, 28.300.
http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-24999/818/norma.htm

República Argentina. (1996, 24 de abril). Ley de Riesgos del Trabajo N.º 24.557. Boletín Oficial de la República Argentina, 28.382. http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/25000-29999/27954/norma.htm

Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2026). Estadísticas de accidentabilidad laboral por agentes materiales y naturaleza de la lesión: Primer Trimestre 2026. Departamento de Estudios Estadísticos. https://www.srt.gob.ar/estadisticas/

Estrategias interdisciplinarias para la prevención y la gestión integral de la salud laboral en empresas sin personal médico

Gustavo Morales, Gerente HSEQ; Diana Ariza, Coordinadora HSEQ

QMax Solutions Colombia

Abstract

La gestión de la salud laboral en empresas sin personal médico vinculado directamente a su nómina supone retos relevantes para la identificación temprana de casos, el seguimiento oportuno de condiciones de salud y la toma de decisiones basadas en evidencia. Este documento sistematiza una experiencia organizacional centrada en la conformación de un equipo interdisciplinario apoyado por asesoría médica externa, con el fin de fortalecer la promoción de la salud, la prevención de riesgos y la vigilancia de la salud de los trabajadores. La estrategia se estructuró a partir del análisis integrado de múltiples fuentes de información —ausentismo, reportes de casos de salud, enfermedad común, accidentes de trabajo y eventos asociados a condiciones laborales— y de mecanismos formales de articulación entre seguridad y salud en el trabajo, talento humano, áreas administrativas y apoyo médico asesor. La experiencia evidencia que la coordinación interdisciplinaria, el seguimiento sistemático y el uso estructurado de la información fortalecen la gestión del riesgo, mejoran la oportunidad de respuesta, favorecen el seguimiento de casos y contribuyen a la construcción de estrategias preventivas sostenibles. Asimismo, se identifican aprendizajes organizacionales relevantes para empresas que operan sin personal médico interno y requieren modelos viables y replicables de gestión integral de la salud laboral.

Palabras Clave

salud laboral; equipo interdisciplinario; prevención de riesgos; ausentismo; vigilancia de la salud; gestión basada en evidencia.

1. Introducción

La gestión de la salud laboral en organizaciones sin personal médico directo representa un desafío operativo y administrativo: por un lado, existe la necesidad de responder con oportunidad a eventos de salud, ausentismo, accidentes de trabajo y restricciones laborales; por otro, la toma de decisiones depende de la disponibilidad, calidad y oportunidad de información proveniente de múltiples actores.

En este tipo de organizaciones, los procesos de promoción, prevención, seguimiento de casos y vigilancia de la salud suelen dispersarse entre áreas de seguridad y salud en el trabajo, talento humano, líderes operativos, aseguradora de riesgos laborales y prestadores externos, lo que puede generar fragmentación de la información, demoras en la respuesta y pérdida de trazabilidad.

QMax Solutions es una compañía de servicios para la industria de Oil & Gas, especializada en la administración de fluidos de perforación y completamiento, herramientas de limpieza, control de sólidos y tratamiento de aguas. Su operación comprende actividades de tratamiento convencional, secador de cortes y procesos de ósmosis inversa, entre otros servicios técnicos asociados al sector.

La empresa cuenta con aproximadamente 400 empleados y una operación nacional distribuida en diferentes tipos de instalaciones: oficinas centrales en Bogotá, base de mantenimiento de equipos y laboratorio en Tocancipá, bodegas de almacenamiento de productos químicos en Villavicencio, Cartagena, Yopal y Neiva, y taller de mantenimiento de herramientas de limpieza de pozo en Yopal. Adicionalmente, mantiene entre 15 y 50 frentes de trabajo distribuidos geográficamente, dependiendo de la dinámica operacional y contractual.

En el plano estratégico, la organización declara como misión "Nosotros entregamos, sin excusas" y como visión "QMax será la empresa hacia donde todos quieren ir", elementos que reflejan una orientación hacia el cumplimiento y la confiabilidad operacional. Asimismo, cuenta con certificaciones RUC, ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e ISO 45001:2018, integradas en su Sistema de Gestión HSEQ.

La operación de Empresa Colombia se desarrolla en un contexto de alta complejidad técnica, logística y territorial, característico de las organizaciones de servicios especializadas para la industria de hidrocarburos. La naturaleza de sus actividades —administración de fluidos de perforación y completamiento, herramientas de completamiento, control de sólidos, tratamiento de aguas y soporte técnico en campo— exige la movilización permanente de personal, equipos, insumos y recursos de apoyo en diferentes regiones del país y bajo condiciones operacionales variables. Esta dinámica configura un entorno en el que la gestión de la salud laboral no puede limitarse a una revisión documental o a respuestas aisladas frente a eventos consumados, sino que requiere mecanismos permanentes de coordinación, seguimiento y anticipación.

A esta complejidad se suma la dispersión geográfica de las instalaciones y la variabilidad del número de frentes de trabajo activos, lo que implica diferencias en exposición a riesgos, jornadas, condiciones de acceso, interacción con clientes y exigencias operacionales. En este escenario, los procesos relacionados con ausentismo, restricciones médicas, eventos de salud, accidentes de trabajo, reincorporación laboral y seguimiento preventivo pueden fragmentarse si no existe una estructura clara de articulación entre las áreas responsables. La evidencia conceptual en salud laboral señala que, en contextos organizacionales complejos, la calidad de la gestión depende en buena medida de la capacidad institucional para integrar fuentes de información, coordinar actores y convertir hallazgos en decisiones oportunas y trazables.

En empresas sin personal médico vinculado directamente a la nómina, este desafío adquiere una relevancia aún mayor. La ausencia de una figura médica interna puede traducirse en brechas para la interpretación técnica de los casos, dificultades para priorizar intervenciones y menor oportunidad en la conexión entre la condición de salud del trabajador y la respuesta organizacional requerida. Bajo estas circunstancias, la gestión de la salud laboral tiende a depender de múltiples interlocutores —seguridad y salud en el trabajo, talento humano, jefaturas operativas, prestadores de salud y administradora de riesgos laborales— cuyos aportes son valiosos, pero que requieren un mecanismo articulador que evite la pérdida de información, la duplicidad de esfuerzos o la demora en la toma de decisiones. Esta necesidad de articulación es consistente con el enfoque del artículo base, en el que la revisión estructurada de información y los espacios formales de seguimiento se convierten en herramientas centrales para la gestión integral de la salud laboral.

Desde una perspectiva preventiva, el reto no reside únicamente en atender casos individuales, sino en construir una capacidad organizacional para reconocer patrones y tendencias. El ausentismo, los reportes de salud, los accidentes de trabajo y otros eventos relacionados con las condiciones laborales constituyen señales que, analizadas de manera aislada, ofrecen una lectura parcial del riesgo; sin embargo, cuando se integran dentro de un esquema de seguimiento sistemático, permiten identificar oportunidades de intervención temprana, priorizar poblaciones o procesos críticos y fortalecer la toma de decisiones basada en

evidencia. Esta aproximación se alinea con los enfoques internacionales de salud laboral, que promueven la integración entre condiciones de trabajo, organización, vigilancia, participación y mejora continua como base para entornos laborales más saludables.

En consecuencia, la complejidad operativa de QMax Solutions Colombia no debe entenderse únicamente como una característica del negocio, sino como un determinante relevante de la forma en que debe organizarse la gestión de la salud laboral. La combinación de operación descentralizada, multiplicidad de frentes de trabajo, exigencia de respuesta rápida y ausencia de personal médico interno justifica la implementación de una estrategia interdisciplinaria orientada a integrar información, fortalecer el seguimiento y mejorar la oportunidad de las acciones preventivas y de control. Este marco explica la pertinencia del modelo analizado en el presente trabajo y sirve como base para comprender su desarrollo metodológico y sus resultados organizacionales.

El período analizado está comprendido entre 2020 y 2025, donde, la organización ha transitado un proceso continuo de aprendizaje, adaptación y fortalecimiento de sus prácticas de gestión, consolidando progresivamente capacidades para articular el equipo interdisciplinario y de esta manera responder a los desafíos operativos y administrativos propios de su dinámica de trabajo, en línea con la coordinación, seguimiento y anticipación en la gestión integral de la salud laboral de la población trabajadora.

Fundamentación teórica o conceptual

La estrategia se sustenta en una comprensión integral de la salud laboral, entendida no solo como la ausencia de enfermedad o lesión, sino como el resultado de la interacción entre condiciones de trabajo, exposición a riesgos, organización del trabajo, soporte institucional y capacidad de respuesta preventiva.

Desde esta perspectiva, la vigilancia de la salud requiere un enfoque interdisciplinario que articule información clínica, administrativa, operativa y de seguridad y salud en el trabajo, de modo que la organización pueda priorizar riesgos, intervenir de manera oportuna y hacer seguimiento efectivo a los casos.

Conceptualmente, el modelo observado se apoya en cinco ejes: (i) gestión basada en evidencia; (ii) articulación interdisciplinaria; (iii) continuidad del seguimiento de casos; (iv) prevención orientada por tendencias y no solo por eventos consumados; y (v) uso de espacios formales de revisión para la toma de decisiones y asignación de responsabilidades.

El ausentismo, los reportes de salud, los accidentes de trabajo y los eventos asociados a condiciones laborales se asumen como fuentes complementarias de información; ninguna de ellas, por sí sola, permite comprender de forma suficiente la dinámica del riesgo. La integración de dichas fuentes mejora la sensibilidad del sistema organizacional para detectar señales tempranas y orientar acciones preventivas.

El papel de la asesoría médica externa no sustituye la gestión interna, sino que la fortalece mediante interpretación técnica, orientación de seguimiento y apoyo en la lectura de casos complejos. Esto permite que la empresa avance hacia una gobernanza de la salud laboral sin depender exclusivamente de una estructura médica propia.

La estrategia interdisciplinaria se justifica por la necesidad de contar con un mecanismo estructurado que permita integrar información de salud, ausentismo, accidentes de trabajo y condiciones laborales, y convertirla en decisiones oportunas de prevención, seguimiento y control. En una organización con operación descentralizada, múltiples frentes de trabajo y sin personal médico vinculado directamente a su nómina, la articulación entre áreas resulta esencial para evitar la fragmentación de la información, la pérdida de trazabilidad y las demoras en la respuesta.

Este enfoque reconoce que la salud laboral no puede abordarse desde una sola disciplina ni limitarse a una gestión reactiva de casos. Por el contrario, requiere la participación coordinada de seguridad y salud en el trabajo, talento humano, áreas operativas y asesoría médica externa, con el fin de interpretar la información disponible, priorizar intervenciones y fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia. Así mismo, la estrategia permite transformar datos dispersos en herramientas de gestión preventiva, favoreciendo la identificación de tendencias, la intervención temprana y la sostenibilidad de las acciones.

En este sentido, el modelo constituye una alternativa viable para empresas que, aún sin contar con personal médico interno, requieren fortalecer su capacidad de promoción, prevención y vigilancia de la salud laboral mediante una gestión más coordinada, oportuna y trazable.

2. Metodología

El documento corresponde a la sistematización de una experiencia organizacional de buena práctica. Su propósito no es demostrar causalidad en sentido experimental, sino describir de manera ordenada los componentes, la lógica de implementación y los resultados observados de una intervención de gestión en salud laboral.

La metodología consistió en la conformación de un equipo interdisciplinario con participación de seguridad y salud en el trabajo, talento humano, áreas administrativas y apoyo médico asesor externo. Este equipo definió rutinas de revisión, priorización y seguimiento de información relevante para la gestión de la salud.

Se integraron como fuentes primarias de análisis los indicadores de ausentismo, reportes de casos de salud, registros de enfermedad común, accidentes de trabajo y eventos vinculados a condiciones laborales. La información fue revisada de manera sistemática con el fin de identificar tendencias, agrupar problemas recurrentes y definir acciones preventivas o correctivas.

La estrategia contempla dos (2) momentos de trabajo claramente diferenciados. El primero corresponde a un espacio médico-técnico, en el que participan exclusivamente los profesionales de la salud y los proveedores médicos que apoyan el proceso, quienes pueden analizar los casos con el nivel de detalle clínico requerido, en el marco de la reserva profesional y de la confidencialidad propia de la información en salud. El segundo momento corresponde a una instancia administrativa y preventiva con la Gerencia HSEQ, dirigida en este contexto por un profesional de formación ingenieril, en la que se revisan únicamente conclusiones funcionales, restricciones, recomendaciones y hechos necesarios para la toma de decisiones organizacionales, sin acceso al contenido reservado de la historia clínica. Esta separación metodológica y funcional garantiza el cumplimiento del principio de confidencialidad, en coherencia con la reserva legal de la historia clínica y con la protección reforzada de los datos de salud, así como con los acuerdos de manejo confidencial suscritos entre la organización y sus proveedores médicos. En consecuencia, el modelo asegura que la Gerencia HSEQ adopte medidas de prevención y protección sobre bases objetivas y suficientes, sin que exista acceso indebido a información médica individual por parte de personal no perteneciente al área de la salud.

Desarrollo de la estrategia/intervención

La estrategia se desarrolló en torno a un modelo de articulación funcional entre áreas técnicas, administrativas y asesoría médica externa. En lugar de centrar la respuesta en actuaciones aisladas, la organización construyó un circuito de información y decisión que permitió convertir datos dispersos en acciones preventivas y de seguimiento.

El primer componente fue la consolidación de múltiples fuentes de información. Esta integración permitió pasar de una lectura fragmentada de los eventos a una interpretación más completa de los riesgos y necesidades de intervención.

El segundo componente fue la creación o fortalecimiento de espacios periódicos de análisis y seguimiento. En estos espacios se revisaban casos de salud, tendencias de ausentismo, eventos laborales relevantes y necesidades de orientación médica, con el fin de establecer prioridades y acciones concretas.

El tercer componente fue la articulación de roles. Seguridad y salud en el trabajo aportó el enfoque preventivo y de control; talento humano contribuyó con el seguimiento administrativo y del ausentismo; las áreas administrativas facilitaron la coordinación operativa; y la asesoría médica externa orientó la interpretación técnica de los casos y la pertinencia de las acciones.

El cuarto componente fue el seguimiento de casos y acciones. La intervención no se limitó a identificar eventos, sino que promovió una trazabilidad mínima sobre las decisiones adoptadas, los responsables definidos y el estado de implementación de las medidas

El quinto componente fue el uso de los hallazgos para generar estrategias preventivas sostenibles, tales como ajustes en prácticas internas, priorización de riesgos, fortalecimiento de campañas, enfoque en grupos o situaciones críticas y mejoramiento de la cultura preventiva.

Figura 1. Estructuración del modelo de gestión integral de la salud laboral



Fuente: QMax, 2026.

3. Resultados y discusión de resultados

Con la información disponible, los resultados pueden presentarse principalmente en términos cualitativos y organizacionales. La experiencia sugiere mejoras en la capacidad institucional para integrar información, hacer seguimiento a los casos y orientar decisiones preventivas con mayor oportunidad.

Se observa un fortalecimiento de la articulación entre áreas, una mayor trazabilidad de los eventos de salud y una mejor capacidad para priorizar acciones a partir del análisis de tendencias en lugar de responder únicamente a eventos aislados.

Asimismo, el modelo aporta a la optimización de recursos, al evitar duplicidades, ordenar la información disponible y generar un espacio estable de coordinación entre actores con responsabilidades complementarias.

La implementación del modelo de articulación funcional e interdisciplinario en QMax Solutions Colombia ha permitido consolidar una transición medible desde una gestión tradicionalmente reactiva hacia un esquema de vigilancia proactiva y toma de decisiones basada en evidencia clínica-administrativa. Al evaluar el periodo comprendido entre 2020 y 2025, los resultados demuestran que la introducción de la Mesa de Vigilancia Epidemiológica (MVE) y la Mesa Laboral (ML) no solo optimizaron la eficiencia de los procesos internos de HSEQ, sino que impactaron directamente en la mitigación del riesgo y la protección efectiva de la salud de la población trabajadora.

Al integrar la visión de la asesoría médica externa con la ejecución de la Gerencia HSEQ y el área de Talento Humano, se ejecutaron líneas de acción clave orientadas a mitigar la exposición al riesgo y robustecer la cultura preventiva.

Se consolidó una rutina de comités estables entre HSEQ, Talento Humano y la Gerencia Legal para los casos integrados al Programa de Rehabilitación y Reincorporación. Esta acción resolvió la histórica fragmentación de la información con proveedores externos y la ARL.

Estas acciones demuestran que el modelo interdisciplinario dota a una empresa sin infraestructura médica interna de la capacidad de anticipación necesaria para gestionar entornos operacionales de alta complejidad técnica y territorial, salvaguardando integralmente la salud del trabajador y asegurando el lema de confiabilidad operacional de la compañía.

La Migración hacia la Identificación de Casos Sospechosos como Hito de la Medicina Preventiva

El factor crítico de éxito y pilar fundamental del modelo implementado radica en la transformación radical de la naturaleza de sus indicadores, transitando de un enfoque tradicionalmente reactivo —basado en el registro de la enfermedad laboral ya consolidada o el evento consumado— hacia un enfoque predictivo puro enfocado en la detección temprana de casos sospechosos o centinela. En la práctica convencional de la salud ocupacional, los indicadores de morbilidad suelen actuar como "retrovisores" que cuantifican el daño cuando este ya es irreversible o requiere procesos complejos de rehabilitación y reincorporación. Por el contrario, la metodología estructurada en este trabajo sitúa la inteligencia preventiva en la fase subclínica o de sospecha inicial, permitiendo que el staff de profesionales de la salud y la Mesa de Vigilancia Epidemiológica (MVE) analicen las primeras desviaciones de la normalidad —tales como alteraciones sutiles en los reportes de salud, cambios en los patrones de ausentismo de corta duración o síntomas iniciales recopilados por las disciplinas aliadas (fisioterapia, fonoaudiología, psicología)— antes de que evolucionen hacia una patología formalmente diagnosticada.

Para una organización con la complejidad operativa y territorial de QMax Solutions Colombia, cuyas actividades en el sector de Oil & Gas exigen la manipulación de fluidos de perforación, control de sólidos y tratamiento de aguas, esta migración conceptual adquiere una relevancia estratégica inestimable. Al institucionalizar el indicador de "caso sospechoso" como la métrica reina de la gestión, la empresa rompe la barrera de no contar con personal médico en nómina y adquiere una robusta capacidad de anticipación. Esto faculta a la Gerencia HSEQ para activar controles de ingeniería, rediseñar puestos de trabajo en talleres o laboratorios, y ajustar de inmediato las matrices de restricción funcional sobre bases objetivas, interrumpiendo de forma

temprana la cadena de exposición al riesgo. En el ámbito de la medicina preventiva y del trabajo, capturar la sospecha y no el daño representa el hito más alto de efectividad, pues no solo optimiza los recursos organizacionales al evitar sobrecostos médico-legales, sino que cumple con el fin supremo del Sistema de Gestión HSEQ: salvaguardar la integridad psicofísica del trabajador, garantizando que el entorno laboral sea un espacio de preservación y no un determinante de pérdida de la salud

4. Conclusiones

La experiencia analizada muestra que una empresa sin personal médico propio puede fortalecer de manera significativa su gestión de la salud laboral si dispone de un modelo organizado de articulación interdisciplinaria, apoyo médico externo y uso sistemático de la información.

El principal aporte del modelo radica en demostrar que la articulación entre análisis médico especializado y decisión administrativa puede realizarse con rigor, oportunidad y plena observancia de la confidencialidad. Esta separación fortalece la prevención, mejora la calidad de las decisiones de la Gerencia HSEQ y consolida un modelo ético, funcional y replicable para la gestión integral de la salud laboral.

Entre los aprendizajes organizacionales más relevantes se encuentran: la necesidad de institucionalizar espacios de seguimiento; la importancia de definir roles y responsabilidades claros; el valor del ausentismo y los reportes de salud como fuentes de inteligencia preventiva; y la utilidad de contar con acompañamiento médico asesor para interpretar casos y orientar decisiones sin necesidad de una estructura médica interna permanente.

También se identifica que la sostenibilidad del modelo depende de la disciplina en el registro, la calidad de la información, la continuidad del seguimiento y el compromiso de las áreas participantes.

En términos de transferibilidad, esta experiencia ofrece una ruta viable para otras organizaciones que enfrentan condiciones similares y buscan fortalecer su gestión integral de la salud laboral con criterios de coordinación, oportunidad y prevención.

Bibliografía

La experiencia se documenta mediante los registros organizacionales de ausentismo, los reportes de casos de salud y el seguimiento de la Mesa de Vigilancia Epidemiológica de QMax Solutions Colombia descritos en el trabajo.

Sostenibilidad en la prevención de eventos de alto impacto y su aporte a la excelencia ESG en operaciones Oil & Gas: factores críticos de éxito

Ivonne Murcia, Milady Carvajal

SierraCol Energy

Colmena Seguros

*Autor de referencia: ivonne_murcia@sierracol.com

Abstract

En la industria de hidrocarburos, la prevención sostenible de eventos de alto impacto representa un desafío estratégico para fortalecer la excelencia ESG. Este trabajo presenta un estudio de caso longitudinal (2020–2025) sobre los factores críticos de éxito en la gestión HSE que permitieron sostener un alto desempeño en seguridad operacional y contribuir al posicionamiento de la organización, durante cuatro años consecutivos, como ESG Industry Top Rated Company por Sustainalytics, con un desempeño sobresaliente dentro de la industria mundial de Oil & Gas y el primer lugar entre las compañías operadoras de Colombia y América Latina en la evaluación más reciente. Los resultados evidencian que la cultura HSE, la gestión de riesgos críticos, el control del trabajo, el desarrollo de competencias y la tecnología e innovación constituyen capacidades organizacionales interdependientes que fortalecen la anticipación del riesgo, la robustez de las barreras, la disciplina operacional y el aprendizaje continuo. Se concluye que la excelencia ESG no surge de iniciativas de sostenibilidad aisladas, sino que puede apalancarse en la madurez de un sistema HSE capaz de prevenir eventos de alto impacto, proteger la vida, preservar el ambiente, fortalecer la gobernanza y generar valor sostenible para los grupos de interés.

Eventos de alto impacto

Sostenibilidad

ESG

Gestión de riesgos

Palabras Clave

Disciplina operacional

1. Introducción

La sostenibilidad se ha consolidado como uno de los principales criterios para evaluar el desempeño y la resiliencia de las organizaciones que operan en industrias de alto riesgo. En el sector Oil & Gas, los grupos de interés exigen cada vez más que las compañías demuestren no solo resultados financieros sólidos, sino también la capacidad de gestionar sus riesgos de manera responsable, proteger a las personas y al ambiente, fortalecer la gobernanza corporativa y generar valor sostenible para la sociedad. En este contexto, la gestión de Salud, Seguridad, Ambiente y Responsabilidad Social desempeña un papel determinante dentro del desempeño ESG, al contribuir a la protección de las personas, el ambiente, la gobernanza corporativa y la capacidad de operar de manera sostenible.

La prevención de eventos de alto impacto representa uno de los principales desafíos para la industria, debido a sus potenciales consecuencias sobre las personas, el ambiente, los activos y la continuidad del negocio. Más allá de reducir la accidentalidad, una gestión HSE madura fortalece la capacidad organizacional para anticipar riesgos, implementar barreras efectivas y consolidar una cultura preventiva, aspectos que respaldan la sostenibilidad operacional y la confianza de los grupos de interés.

En respuesta a estos desafíos, la gestión HSE ha evolucionado desde enfoques centrados en el cumplimiento normativo y el seguimiento de indicadores reactivos hacia sistemas integrados de gestión que promueven el liderazgo, la gestión del riesgo, la disciplina operacional, el desarrollo de competencias, la innovación tecnológica y la mejora continua. Esta evolución ha sido impulsada por marcos internacionales como el Operating Management System Framework (IOGP Report 510), que proporciona un marco estructurado para fortalecer la confiabilidad operacional y la sostenibilidad del negocio.

La literatura especializada ha documentado ampliamente la importancia de los sistemas de gestión HSE, la cultura de seguridad, la gestión de riesgos críticos y los modelos de sostenibilidad corporativa. Sin embargo, el reto para las organizaciones continúa siendo cómo integrar estos elementos dentro de una estrategia que fortalezca de manera sostenible la prevención de eventos de alto impacto y, al mismo tiempo, contribuya al desempeño ESG.

El presente trabajo analiza el caso de SierraCol Energy LLC, Compañía del sector Oil & Gas en Colombia que desarrolló una estrategia HSE orientada a fortalecer las capacidades organizacionales para anticipar y prevenir eventos de alto impacto, mediante la evolución de su cultura de seguridad, la gestión del riesgo, el control del trabajo, el desarrollo de competencias y la incorporación de tecnologías digitales, soportadas en la arquitectura de su Sistema Integrado de Gestión Operacional (HESMS). Durante el período analizado, la organización fue reconocida durante cuatro años consecutivos como ESG Industry Top Rated Company por Sustainalytics, ubicándose entre las compañías con mejor desempeño ESG del sector Oil & Gas a nivel mundial y como la compañía operadora mejor posicionada en Colombia y América Latina en la evaluación más reciente. Este estudio analiza cómo la evolución de la estrategia HSE contribuyó al fortalecimiento de las capacidades organizacionales asociadas tanto con la prevención sostenible de eventos de alto impacto como con dicho desempeño en materia de sostenibilidad.

A partir de este caso de estudio, el artículo identifica los factores críticos de éxito que permitieron integrar la gestión HSE con la estrategia de sostenibilidad corporativa y propone un modelo conceptual replicable para organizaciones interesadas en fortalecer una gestión segura, sostenible y responsable, orientada al bienestar de las personas, la protección del ambiente, la continuidad del negocio y la generación de valor sostenible en los territorios donde opera.”

En este sentido, el estudio parte de una premisa central: en operaciones Oil & Gas, una gestión HSE madura y sostenible puede contribuir de manera relevante al desempeño ESG cuando se articula con una estrategia corporativa integral de sostenibilidad. Las organizaciones que desarrollan sistemas HSE, capaces de anticipar riesgos, fortalecer barreras, generar aprendizaje y sostener disciplina operacional, crean las condiciones necesarias para proteger la vida, preservar el ambiente y generar confianza en sus grupos de interés. Bajo esta lógica, la prevención sostenible de eventos de alto impacto se consolida como un habilitador estratégico de la excelencia ESG en industrias de alto riesgo.

2. Metodología

El presente trabajo se desarrolló bajo un enfoque cualitativo-descriptivo, mediante un estudio de caso longitudinal aplicado a una empresa operadora del sector Oil & Gas en Colombia durante el período 2020–2025. Este enfoque permitió analizar la evolución de la gestión HSE y su relación con el desempeño ESG a partir de la revisión sistemática de estrategias, prácticas organizacionales, indicadores de desempeño y evidencias documentales asociadas a la prevención de eventos de alto impacto.

La selección del estudio de caso responde al interés de comprender cómo una organización que opera en una industria de alto riesgo logró integrar progresivamente la gestión de Salud, Seguridad, Ambiente y Responsabilidad Social con su estrategia de sostenibilidad corporativa, hasta consolidar capacidades organizacionales orientadas a la anticipación del riesgo, la disciplina operacional y la excelencia ESG. En este sentido, el caso analizado permite examinar no solo resultados de desempeño, sino también los factores críticos que hicieron posible sostener dichos resultados en el tiempo.

Análisis del desempeño sostenible en la prevención de eventos de alto impacto y la excelencia ESG

El análisis del desempeño sostenible se orientó a evaluar la relación entre la capacidad de la organización para prevenir eventos de alto impacto y su contribución al desempeño ESG. Para ello, en el estudio no solo se consideraron los indicadores de accidentalidad, sino también los mecanismos organizacionales que permitieron anticipar riesgos, fortalecer barreras preventivas, sostener disciplina operacional y generar aprendizaje continuo.

Para efectos de esta investigación, la sostenibilidad del desempeño se definió como la capacidad de la organización para mantener resultados consistentes en la prevención de eventos de alto impacto durante el período de estudio y fortalecer progresivamente su desempeño ESG. En una industria caracterizada por operaciones de alta complejidad y exposición permanente a riesgos críticos, la permanencia de estos resultados constituyó el fenómeno que dio origen al presente estudio.

A partir de esta evidencia, la investigación se orientó por la siguiente pregunta:

¿Cuáles fueron los factores críticos de éxito que permitieron sostener la prevención de eventos de alto impacto y contribuir a un desempeño sobresaliente en materia de ESG en una operación de Oil & Gas?

Esta pregunta permitió desplazar el análisis desde una lectura centrada exclusivamente en indicadores hacia una comprensión más amplia de las capacidades organizacionales que soportan la prevención sostenible del riesgo.

Para responderla, se revisó la evolución del modelo de gestión HSE, la estrategia HSE desarrollada por la organización y las principales iniciativas implementadas durante el período de estudio. El análisis se enfocó en identificar los elementos que contribuyeron a consolidar

una gestión preventiva, entre ellos el fortalecimiento de barreras operacionales y de ingeniería, el liderazgo visible, la gestión de riesgos críticos, el control del trabajo, la disciplina operacional, el desarrollo de competencias, la cultura preventiva, la tecnología digital y la gestión de contratistas.

Estos factores fueron analizados no como programas independientes, sino como capacidades integradas al sistema de gestión desde una perspectiva metodológica, evaluando su interacción dentro del modelo de gestión y su contribución al fortalecimiento de las capacidades organizacionales para anticipar desviaciones, reducir la exposición a riesgos críticos, fortalecer la toma de decisiones, generar aprendizaje organizacional y aportar valor a las dimensiones ambiental, social y de gobernanza. Bajo esta perspectiva, la gestión HSE sostenible se interpreta como un componente relevante de soporte al desempeño ESG, en la medida en que fortalece la prevención de eventos de alto impacto, la disciplina operacional, la gestión responsable del riesgo y la protección de las personas, el ambiente y la continuidad del negocio.

La Figura 1 sintetiza la lógica metodológica del estudio de caso, mostrando la secuencia seguida para pasar del fenómeno observado y la pregunta de investigación al marco de análisis, la identificación de factores críticos de éxito y la formulación del modelo conceptual propuesto.



Figura 1 Esquema metodológico del estudio de caso

Esta secuencia metodológica permitió ordenar el análisis y conectar la revisión del desempeño HSE, la evolución de la estrategia HSE y la contribución de los factores críticos al desempeño ESG. Con base en esta lógica, el siguiente apartado profundiza en la evolución del modelo de gestión HSE durante el período de estudio.

Análisis de la evolución del modelo de gestión HSE

Con el propósito de comprender los elementos que explicaban la sostenibilidad de los resultados observados, se analizó la evolución del modelo de gestión HSE implementado por la organización durante el período 2020–2025. Este análisis permitió identificar cómo el sistema de gestión pasó de un enfoque centrado en el cumplimiento, la estandarización y el seguimiento de indicadores, hacia un modelo más integrado orientado a la anticipación del riesgo, la prevención de eventos de alto impacto y la generación de valor para la sostenibilidad corporativa.

La evolución del modelo de gestión estuvo sustentada en un principio corporativo que orientó todas las decisiones estratégicas y operacionales de la organización: la protección de la vida como el objetivo corporativo de mayor jerarquía. Bajo esta visión, la prevención de eventos de alto impacto dejó de entenderse como una responsabilidad exclusiva del área HSE para convertirse en un compromiso transversal de toda la organización, donde la vida y la integridad de las personas prevalecen sobre cualquier objetivo de producción, cronograma o rentabilidad. Este propósito corporativo se constituyó en el fundamento sobre el cual evolucionó la estrategia HSE y se desarrollaron las capacidades organizacionales analizadas en esta investigación.

El análisis comprendió la revisión del Sistema Integrado de Gestión HESMS, estructurado bajo los principios del Operating Management System Framework (IOGP Report 510), así como de la estrategia HSE y de los principales estándares corporativos que orientan la gestión de los riesgos operacionales. Esta revisión permitió entender la forma en que los elementos del sistema —liderazgo, gestión de riesgos, control operacional, seguimiento, aprendizaje y mejora continua— fueron articulándose progresivamente con las prioridades estratégicas de seguridad, ambiente, responsabilidad social y desempeño ESG.

Más allá de una evaluación centrada exclusivamente en el cumplimiento de requisitos del sistema de gestión, el análisis se enfocó en comprender cómo la evolución de la estrategia HSE fortaleció progresivamente las capacidades organizacionales para anticipar el riesgo, mejorar la calidad de la planificación, fortalecer las barreras de ingeniería, asegurar la disciplina operacional y consolidar una cultura orientada a la prevención de incidentes. Bajo este enfoque, el sistema de gestión no fue analizado como una estructura documental, sino como un habilitador y plataforma para transformar la forma en que la organización toma decisiones, gestiona los riesgos y fortalece el aprendizaje organizacional.

Como parte del análisis, se revisó la evolución de los principales componentes de la estrategia HSE, su propósito, los mecanismos de implementación desarrollados durante el período de estudio y su interacción dentro del modelo de gestión. Este análisis permitió establecer la relación entre la evolución del sistema, la consolidación de capacidades organizacionales y la sostenibilidad de los resultados obtenidos en materia de seguridad operacional.

Como resultado del análisis, la evolución del modelo de gestión HSE fue interpretada como un proceso progresivo de fortalecimiento de capacidades organizacionales orientadas a la prevención. Este proceso integró liderazgo, cultura preventiva, gestión de riesgos críticos, control del trabajo, competencias, tecnología, gestión de contratistas y barreras de ingeniería dentro de una misma lógica de gestión preventiva. Como se presenta en la Figura 2, dicha evolución muestra una transición desde los fundamentos del sistema y la disciplina operacional, hacia una etapa de integración y fortalecimiento de barreras, contratistas y aprendizaje organizacional, hasta llegar a un enfoque de mayor madurez orientado a la anticipación del riesgo, el control del trabajo, el desarrollo de competencias y la incorporación de tecnología predictiva.



Figura 2 Evolución de la estrategia HSE y fortalecimiento de capacidades organizacionales (2020–2025).

La Figura 2 permite visualizar que la sostenibilidad de los resultados observados no se explica por una iniciativa aislada, sino por la evolución gradual de un conjunto de capacidades que fueron integrándose al modelo de gestión HSE durante el período 2020–2025. En este sentido, la figura sirve como puente entre el análisis de la arquitectura y evolución del sistema y la identificación posterior de los factores críticos de éxito.

El Sistema Integrado de Gestión Operacional HESMS como arquitectura para la prevención sostenible de eventos de alto impacto

El análisis realizado permitió establecer que la sostenibilidad de los resultados alcanzados por la organización no puede atribuirse a una iniciativa específica ni a la implementación aislada de programas de seguridad. Por el contrario, los hallazgos evidencian que dichos resultados fueron consecuencia de la evolución progresiva de un conjunto de capacidades organizacionales desarrolladas de manera integrada dentro del Sistema Integrado de Gestión Operacional HESMS.

En este contexto, el HESMS no fue analizado como un factor crítico de éxito independiente, sino como la arquitectura organizacional que articula el liderazgo, la gestión de riesgos, el control operacional, el aprendizaje organizacional y la mejora continua, proporcionando el marco de gobernanza necesario para integrar las diferentes estrategias HSE y orientarlas hacia un propósito común: la prevención sostenible de eventos de alto impacto.

Alineado con los principios del Operating Management System Framework (IOGP Report 510), el HESMS permitió evolucionar desde un enfoque centrado principalmente en el cumplimiento de requisitos hacia un sistema de gestión orientado al desarrollo de capacidades organizacionales, donde la disciplina operacional, la gestión dinámica del riesgo, el fortalecimiento de barreras, el liderazgo y la innovación actúan de manera integrada para mejorar continuamente el desempeño de la organización.

Esta arquitectura se representa en la Figura 3, en la cual se sintetizan los elementos del Sistema Integrado de Gestión Operacional HESMS de SierraCol Energy y su alineación con el Operating Management System Framework de IOGP 510. La figura permite visualizar cómo el sistema integra liderazgo, gestión de riesgos, implementación y mejora continua como fundamentos transversales, alrededor de diez elementos de gestión que proporcionan estructura, gobernanza y mecanismos de aseguramiento para la gestión preventiva del riesgo.

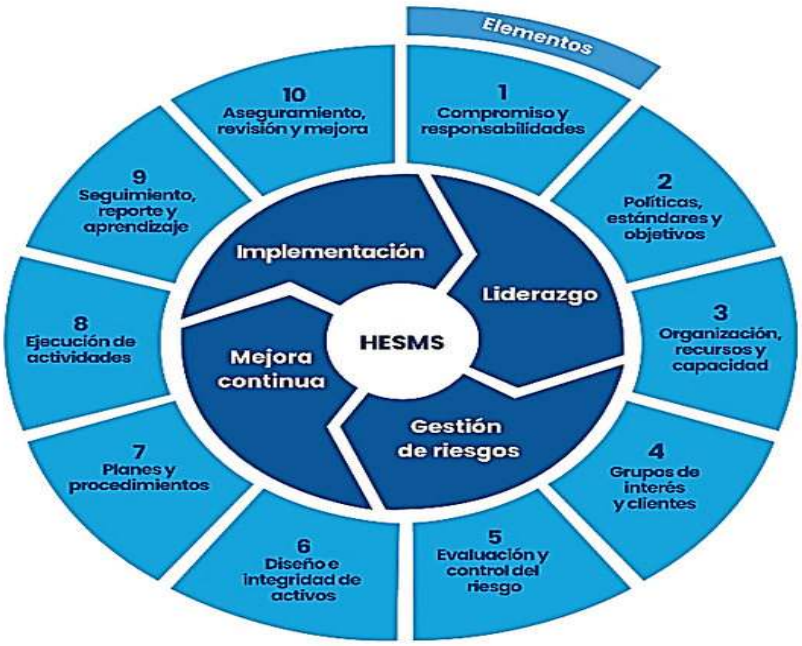


Figura 3 Sistema Integrado de Gestión Operacional HESMS alineado con IOGP 510

Bajo esta perspectiva, la estrategia HSE constituyó el mecanismo mediante el cual los principios del sistema de gestión se tradujeron en prácticas operacionales, comportamientos y herramientas para la gestión preventiva del riesgo. Esta estrategia evolucionó alrededor de cinco capacidades organizacionales que, por su contribución sostenida a la prevención de eventos de alto impacto, fueron identificadas en la presente investigación como los factores críticos de éxito del modelo.

Como se observa en la figura 3, el HESMS no constituye un factor crítico de éxito; constituye la arquitectura organizacional sobre la cual evolucionan las capacidades que hacen posible la prevención sostenible de eventos de alto impacto. Esta distinción resulta fundamental, ya que mientras el sistema de gestión proporciona la estructura, la gobernanza y los mecanismos de integración, son las capacidades organizacionales las que materializan dicha estructura en decisiones, comportamientos y prácticas que fortalecen la excelencia operacional y aportan a tener resultados sostenibles en HSE.

Análisis de los factores críticos de éxito

Como resultado del análisis, se identificaron cinco capacidades organizacionales que explican la sostenibilidad del desempeño observado durante el período de estudio:

Cultura HSE, orientada a fortalecer el liderazgo, la conversación preventiva y la responsabilidad compartida frente a la protección de la vida.

Gestión de Riesgos Críticos, enfocada en la eliminación del riesgo en la fuente, el fortalecimiento de barreras críticas y la gestión dinámica del riesgo.

Control del Trabajo, orientado a fortalecer la planificación anticipada, el aseguramiento de controles críticos y la disciplina operacional durante la ejecución de las actividades.

Competencias, concebidas como el desarrollo permanente de capacidades técnicas y comportamentales para trabajadores, supervisores, contratistas y comunidades.

Tecnología e Innovación, orientadas a ampliar la capacidad de anticipación mediante herramientas digitales, analítica de datos e inteligencia artificial aplicada a la gestión preventiva.

Los cinco factores identificados constituyen el núcleo del modelo conceptual propuesto en esta investigación y representan las capacidades organizacionales mediante las cuales la organización fortaleció la prevención sostenible de eventos de alto impacto. Como se presenta en la Figura 4, cada capacidad fue analizada desde tres dimensiones: la transformación organizacional desarrollada durante el período de estudio, su contribución a la prevención de eventos de alto impacto y su aporte a las dimensiones ambiental, social y de gobernanza. Este análisis permitió comprender la interacción entre las capacidades organizacionales y su contribución al desempeño operacional y al desempeño ESG observado en la organización.



Figura 4 Factores críticos de éxito identificados y su contribución a la prevención de eventos de alto impacto y al desempeño ESG

En conjunto, los cinco factores fueron interpretados como capacidades organizacionales interdependientes cuyo valor no radica en su implementación individual, sino en la forma en que se articulan dentro del Sistema Integrado de Gestión Operacional HESMS para fortalecer la anticipación del riesgo, la planificación de trabajos críticos, la gestión de barreras, la calidad de las decisiones y el aprendizaje organizacional. Esta integración permitió interpretar la prevención sostenible de eventos de alto impacto como el resultado de una arquitectura de gestión madura, donde las capacidades organizacionales fortalecen la excelencia operacional y contribuyen al desempeño ESG observado durante el período analizado.

Cultura HSE

La cultura HSE fue analizada como una capacidad organizacional orientada a fortalecer la percepción del riesgo, la conversación preventiva, la confianza para intervenir y la responsabilidad compartida frente a la protección de la vida. Durante el período de estudio, la organización evolucionó desde un modelo basado principalmente en observaciones y estadísticas aisladas hacia un enfoque centrado en conversaciones de seguridad basadas en comportamientos, condiciones de trabajo y decisiones operacionales. Esta transición permitió desplazar el énfasis desde el registro de observaciones hacia la calidad de la interacción preventiva entre líderes, trabajadores y contratistas.

Este enfoque cultural se consolidó a través del programa VIDA, entendido como una plataforma de transformación cultural orientada a promover que cada persona asuma un rol activo en la identificación, comunicación e intervención frente al riesgo. VIDA integra cuatro elementos complementarios que, articulados entre sí, fortalecen la capacidad de la organización para reconocer desviaciones, conversar sobre seguridad, tomar decisiones oportunas y actuar antes de que una condición insegura pueda materializarse en un evento de alto impacto:

Liderazgo con propósito HSE: Representa el compromiso visible de los líderes con la protección de la vida y la gestión preventiva del riesgo. Este liderazgo se expresa en la presencia activa en campo, la escucha, el acompañamiento a los equipos, la retroalimentación oportuna y la toma de decisiones coherente con la prioridad de cuidar a las personas. Su propósito no es únicamente verificar el cumplimiento de estándares, sino generar confianza, alinear expectativas y demostrar que la seguridad es una responsabilidad compartida entre líderes, trabajadores y contratistas.

Conversaciones de Seguridad: Este elemento recoge la evolución del enfoque de ingeniería del desempeño humano hacia un modelo más práctico y participativo basado en conversaciones preventivas. Su objetivo es comprender cómo las personas toman decisiones en el contexto real del trabajo, qué condiciones influyen en sus comportamientos y qué barreras pueden fortalecerse para prevenir errores o desviaciones. Bajo este enfoque, la conversación se convierte en el principal mecanismo de aprendizaje, permitiendo analizar comportamientos, condiciones del entorno, procedimientos, controles y oportunidades de mejora antes de que se materialice un incidente. El reporte de la conversación no es el fin del proceso, sino la evidencia de una interacción preventiva significativa.

Conciencia situacional: Hace referencia a la capacidad de las personas para observar su entorno, identificar cambios en las condiciones del trabajo, reconocer señales tempranas de riesgo y ajustar sus decisiones de manera oportuna. En operaciones de alto riesgo, este elemento es fundamental porque permite que trabajadores y líderes mantengan una lectura activa del contexto operacional, especialmente cuando las condiciones cambian, aparecen desviaciones o los controles establecidos no son suficientes. La conciencia situacional fortalece la anticipación y permite detener, reevaluar o ajustar una actividad antes de continuar.

Autorización para Salvar Vidas: Constituye el respaldo explícito de la organización para que cualquier trabajador o contratista pueda suspender una actividad cuando identifique desviaciones, condiciones inseguras, ausencia de controles, incumplimiento de procedimientos o cualquier situación que pueda comprometer la vida, el ambiente, los activos o la continuidad operacional. Este elemento fortalece la confianza para intervenir y convierte la suspensión del trabajo en una decisión legítima, preventiva y alineada con la cultura de cuidado. Su valor radica en que habilita la acción temprana frente al riesgo, antes de que una desviación evolucione hacia un evento de mayor consecuencia.

En conjunto, estos cuatro elementos permitieron reinterpretar la cultura HSE no como una campaña o un programa aislado, sino como una capacidad integrada del sistema de gestión para conversar, aprender e intervenir frente al riesgo. Bajo esta lógica, el valor del modelo no está en aumentar el número de registros u observaciones, sino en fortalecer la calidad de las conversaciones, la confianza para suspender trabajos cuando sea necesario y la capacidad colectiva para detectar desviaciones antes de la materialización de un evento.

Desde la perspectiva ESG, este factor contribuye principalmente al componente social, al proteger la vida y el bienestar de trabajadores y contratistas, y al componente de gobernanza, al fortalecer la responsabilidad compartida, la toma de decisiones prudente, la disciplina operacional y el cumplimiento de estándares críticos. En consecuencia, VIDA fue analizado como una plataforma de transformación cultural que habilita la prevención sostenible de eventos de alto impacto y refuerza la excelencia operacional como base del desempeño ESG.

Gestión de riesgos

La gestión de riesgos fue analizada como la capacidad organizacional para integrar la identificación de peligros, la evaluación de escenarios críticos y la implementación de barreras robustas dentro de la toma de decisiones operacionales. En el caso estudiado, este factor trascendió el uso de metodologías o matrices de riesgo para consolidar un enfoque preventivo donde la gestión del riesgo acompaña permanentemente la planificación, ejecución y seguimiento de las actividades críticas.

El análisis evidenció la evolución hacia un modelo de Gestión Dinámica del Riesgo (GDR+), concebido como una estrategia que incorpora la gestión del riesgo durante todo el ciclo de vida del trabajo y no únicamente como una actividad previa a la ejecución. A través de una ruta metodológica estructurada en once etapas, la organización fortaleció la formación, la identificación y valoración rigurosa de riesgos, la construcción de salvaguardas, el tratamiento del riesgo, las auditorías, la certificación de competencias y la mejora continua, integrando estos elementos con los procesos de Permisos de Trabajo, Seguridad de Procesos, Disciplina Operacional y Salud Ocupacional (Figura 5).



Figura 5 Ruta implementación Gestión Dinámica del Riesgo

Bajo este enfoque, el monitoreo de los riesgos críticos dejó de limitarse a la verificación documental para centrarse en el aseguramiento permanente de las barreras robustas. Antes del inicio de cada trabajo y durante su ejecución, se verifica la implementación y efectividad de los controles definidos en la planeación, permitiendo identificar desviaciones, gestionar cambios en las condiciones operacionales y fortalecer la toma de decisiones antes de que el riesgo pueda materializarse. Esta evolución permitió consolidar una gestión dinámica del riesgo orientada a la anticipación y no únicamente a la respuesta frente a las desviaciones.

Un componente estratégico de esta evolución fue el desarrollo del aplicativo GDR+, concebido como una plataforma digital para integrar la información generada durante la Gestión Dinámica del Riesgo. El aplicativo articula en un mismo entorno los procesos de Permisos de Trabajo, Seguridad de Procesos, Disciplina Operacional y Salud Ocupacional, permitiendo consolidar la gestión de riesgos, salvaguardas, auditorías, competencias y planes de mejora. Esta integración fortalece la trazabilidad de las barreras críticas, facilita el seguimiento de desviaciones y proporciona información para la toma de decisiones y la mejora continua. Asimismo, constituye la base para la evolución del modelo hacia herramientas de analítica de datos e inteligencia artificial orientadas a fortalecer la anticipación del riesgo y el monitoreo preventivo de las operaciones.

La implementación de esta estrategia produjo resultados significativos en la operación. Una de las operaciones de la organización en Colombia, alcanzó tres años consecutivos sin accidentes registrables, evidenciando la efectividad del modelo para sostener la prevención en actividades de alta complejidad y elevado nivel de riesgo. Paralelamente, la metodología trascendió el ámbito organizacional mediante el desarrollo de un módulo de formación en Gestión Dinámica del Riesgo, entregado al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) como contribución al fortalecimiento de las competencias en gestión del riesgo del talento humano del país. Este aporte representa un ejemplo de cómo una estrategia HSE puede generar valor social más allá de la organización, fortaleciendo la empleabilidad, la cultura preventiva y las capacidades del sector productivo colombiano.

Desde la perspectiva ESG, la Gestión Dinámica del Riesgo aporta simultáneamente a las tres dimensiones de la sostenibilidad. En el componente ambiental, fortalece la prevención de eventos con potencial de afectar el entorno mediante el aseguramiento de barreras críticas. En la dimensión social, protege la vida y la salud de trabajadores y contratistas, al tiempo que contribuye al desarrollo de capacidades a través de la transferencia de conocimiento al SENA. Finalmente, en la dimensión de gobernanza, fortalece la toma de decisiones basada en riesgo, la trazabilidad de los controles, la disciplina operacional y la mejora continua, consolidando una gestión preventiva integrada y sostenible.

Competencias

El desarrollo de competencias fue analizado como una capacidad estratégica para fortalecer la calidad de la planeación, la ejecución segura de trabajos críticos y la toma de decisiones frente al riesgo. Durante el período de estudio, la organización concentró esfuerzos en mejorar las competencias de los supervisores HSE que asesoran a la línea operativa en el día a día, reconociendo que estos roles son fundamentales para traducir los estándares, procedimientos y expectativas corporativas en decisiones prácticas durante la planificación y ejecución de actividades de alto riesgo.

El análisis se enfocó en cómo el fortalecimiento de competencias técnicas y operativas permite mejorar la conversación sobre seguridad, elevar la calidad de la asesoría HSE y asegurar que los trabajos sean planificados considerando no solo los peligros asociados, sino también las barreras necesarias para prevenir eventos de alto impacto. En este sentido, las competencias se relacionan directamente con la capacidad de aplicar la jerarquía de controles, promover

controles de ingeniería cuando sean viables, validar la suficiencia de los controles definidos y acompañar la gestión dinámica del riesgo durante la ejecución.

Como parte del fortalecimiento de esta capacidad, SierraCol Energy desarrolló un programa denominado “Guardianes de la VIDA”, una iniciativa de formación comunitaria HSE desarrollada a través de WhatsApp. La Figura 6 presenta una síntesis visual del programa, permite evidenciar su propósito, su orientación hacia comunidades y el uso de un canal digital de fácil acceso para compartir contenidos básicos de seguridad industrial, cultura HSE y gestión del riesgo en entornos cotidianos del sector rural y de las operaciones Oil & Gas. De esta manera, el fortalecimiento de competencias HSE no se limita al personal propio o contratista, sino que también puede extenderse a comunidades del área de influencia como una contribución social de la gestión HSE.



Figura 6 Guardianes de la Vida: Formación comunitaria HSE a través de WhatsApp

De esta manera, las competencias fueron entendidas en dos niveles complementarios: primero, como una capacidad operacional para mejorar la gestión del riesgo en las operaciones; y segundo, como una estrategia de generación de valor social que promueve la apropiación de conocimientos básicos de seguridad y cultura preventiva en poblaciones del área de influencia. Esta doble aproximación evidencia cómo el fortalecimiento de competencias puede contribuir simultáneamente a la prevención sostenible de eventos de alto impacto y a la generación de valor social, fortaleciendo la cultura preventiva en comunidades del área de influencia.

Control del trabajo

El control del trabajo fue analizado como un factor crítico para fortalecer la planificación, autorización, coordinación y ejecución segura de actividades operacionales, especialmente aquellas asociadas a tareas de alto riesgo. El análisis no se enfocó en corregir una ausencia de planificación, sino en comprender cómo la organización avanzó hacia un modelo más riguroso, anticipado y sistemático, orientado a asegurar que los trabajos críticos cuenten con los controles, recursos, procedimientos y competencias requeridas antes de su ejecución.

Bajo este enfoque, el estándar de control del trabajo busca fortalecer la calidad de la preparación previa, evitando que decisiones críticas relacionadas con controles, recursos, procedimientos, competencias o condiciones de ejecución se concentren únicamente en el

momento de apertura del permiso en sitio. En cambio, promueve una planificación anticipada que permite revisar con mayor profundidad los riesgos de la actividad, las tareas simultáneas, los controles necesarios, los requisitos técnicos, los roles involucrados y las condiciones bajo las cuales el trabajo puede ejecutarse de manera segura.

Este factor se analizó como una barrera organizacional clave para reducir variabilidad operacional y asegurar consistencia en la ejecución de actividades críticas. Su valor radica en que conecta la gestión de riesgos con la operación real, asegurando que los permisos, procedimientos, análisis de riesgo, competencias del personal y controles definidos estén integrados dentro de una misma lógica preventiva. De esta manera, el control del trabajo permite fortalecer la disciplina operacional y reducir la probabilidad de desviaciones durante la ejecución.

Desde la perspectiva ESG, el control del trabajo contribuye al componente social, al proteger a trabajadores y contratistas durante actividades críticas, y al componente de gobernanza, al fortalecer la trazabilidad, la responsabilidad, el cumplimiento de estándares y la toma de decisiones basada en riesgo. En industrias de alto riesgo, esta capacidad resulta esencial para sostener una operación segura, confiable y alineada con la excelencia operacional.

Tecnología

La tecnología fue analizada como un habilitador transversal para fortalecer la anticipación del riesgo, la trazabilidad de la información y la toma de decisiones preventivas. En el caso estudiado, la organización ha impulsado el uso de herramientas digitales orientadas a mejorar la visibilidad de las actividades en campo, identificar desviaciones en tiempo real y actuar antes de que una condición insegura o una desviación operacional pueda materializarse en un evento.

Uno de los elementos centrales de este factor es el desarrollo de un centro de analítica de video en tiempo real para el monitoreo de actividades en campo. Actualmente, este modelo permite observar actividades durante la jornada laboral mediante cámaras ubicadas en áreas operativas, con el propósito de identificar condiciones o comportamientos que requieran intervención preventiva. La expectativa de evolución del sistema es incorporar herramientas de inteligencia artificial para ampliar la capacidad de análisis, identificar patrones de riesgo, monitorear el cumplimiento de controles críticos y fortalecer la anticipación de incidentes.

Adicionalmente, se analizaron herramientas digitales aplicadas a taladros y actividades críticas, mediante cámaras que permiten observar trabajos en tiempo real, identificar presencia de personas y mejorar la capacidad de seguimiento operacional. En conjunto, estas herramientas responden a una lógica de anticipación: anticipar incidentes mediante sistemas de monitoreo en tiempo real, integrar información de actividades, evaluaciones de riesgo y procedimientos operacionales y de seguridad, e introducir nuevas aplicaciones digitales para permisos de trabajo.

Bajo esta perspectiva, la tecnología no fue entendida como vigilancia ni como digitalización aislada de procesos, sino como una capacidad para ampliar la cobertura del sistema de gestión, mejorar la oportunidad de la información, monitorear desviaciones y fortalecer decisiones preventivas. Su contribución a ESG se expresa en la dimensión social, al proteger a las personas mediante la intervención temprana; en la dimensión ambiental, al mejorar el control de actividades con potencial de impacto; y en la dimensión de gobernanza, al fortalecer trazabilidad, transparencia y decisiones basadas en datos.

3. Resultados y discusión de resultados

Sostenibilidad en la prevención de eventos de alto impacto

Los resultados de la investigación evidencian que la sostenibilidad en la prevención de eventos de alto impacto trasciende el desempeño de los indicadores de seguridad y representa la consolidación de una forma de gestionar las operaciones. Durante el período analizado, la organización evolucionó desde un enfoque orientado principalmente al cumplimiento de requisitos y la estandarización de procesos hacia un modelo de gestión en el que la seguridad, el ambiente, la responsabilidad social y la gobernanza se integran como elementos inseparables de la excelencia operacional.

Bajo esta visión, la prevención de eventos de alto impacto dejó de entenderse como un objetivo exclusivo del área HSE para convertirse en un propósito compartido por toda la organización, capaz de generar valor sostenible para los trabajadores, las comunidades, los territorios donde opera y el país. La protección de la vida, el fortalecimiento de las capacidades humanas, la gestión responsable de los riesgos, la innovación y la disciplina operacional evolucionaron así desde prácticas de gestión hacia principios que orientan la toma de decisiones y la manera de desarrollar las operaciones.

La Figura 7 refleja esta evolución a través del comportamiento sostenido del Total Recordable Incident Rate (TRIR) durante el período 2020–2025. Estos resultados se complementan con más de veinte años de operación sin fatalidades, evidenciando que la prevención de eventos de alto impacto constituye el resultado de una arquitectura de gestión sólida, integrada y capaz de sostener el desempeño en el tiempo.



Figura 7 Evolución del desempeño en seguridad operacional (TRIR – Total Recordable Injury Rate) durante el período 2020–2025 comparado con el benchmark global Oil & Gas de IOGP.

Más allá de los resultados operacionales, esta evolución permitió consolidar una cultura preventiva donde la creación de valor trasciende los límites de la organización y se convierte en una contribución al bienestar de las personas, la protección del ambiente y el desarrollo sostenible de los territorios. Desde esta perspectiva, la sostenibilidad en la prevención de eventos de alto impacto representa uno de los elementos que sustentan la excelencia operacional y, como se presenta en la siguiente sección, contribuye al desempeño sobresaliente de la organización en materia de ESG.

La gestión HSE y su contribución a la excelencia en ESG

Los resultados obtenidos en materia de seguridad operacional sugieren que la evolución del modelo de gestión HSE contribuyó a fortalecer una gestión operacional donde la protección de las personas, la gestión responsable de los riesgos, el cuidado del ambiente y la gobernanza se integran como elementos complementarios para la generación de valor sostenible. Ben este contexto, el desempeño ESG observado se interpreta como coherente con la madurez alcanzada por el sistema de gestión y el fortalecimiento progresivo de las capacidades organizacionales analizadas.

En el período analizado, la organización fue reconocida durante cuatro años consecutivos como ESG Industry Top Rated Company por Sustainalytics, ubicándose entre las compañías con mejor desempeño ESG del sector Oil & Gas a nivel mundial y como la compañía operadora mejor posicionada en Colombia y América Latina en la evaluación de 2025. Si bien este reconocimiento responde a múltiples dimensiones de la gestión organizacional, los resultados del presente estudio sugieren que la evolución del modelo de gestión HSE constituye un elemento consistente con el desempeño ESG observado durante el período analizado. Más allá del reconocimiento obtenido, estos resultados reflejan la consolidación de una visión de sostenibilidad donde la excelencia operacional se orienta a proteger la vida, fortalecer la confianza de los grupos de interés y generar valor para las comunidades, los territorios donde opera la organización y el desarrollo del país. En este contexto, la gestión HSE no se limita al control de los riesgos operacionales, sino que hace parte de una arquitectura de gestión organizacional orientada a fortalecer la excelencia operacional y contribuir al logro de los objetivos estratégicos de sostenibilidad.

La Figura 8 presenta la evolución del reconocimiento ESG obtenido por la organización durante el período analizado.



Figura 8 Estrategia ESG y consolidación del reconocimiento ESG Industry Top Rated por Sustainalytics.

Más que evidenciar un resultado independiente, este reconocimiento se interpreta como consistente con la madurez alcanzada por dicha arquitectura de gestión, en la cual el Sistema Integrado de Gestión Operacional HSEMS proporcionó la estructura para articular la estrategia HSE, la gestión de los riesgos, el desarrollo de capacidades organizacionales y la mejora continua de la operación. Los resultados obtenidos permiten interpretar que la prevención sostenible de eventos de alto impacto y el desempeño ESG observado comparten un mismo fundamento: una arquitectura de gestión organizacional donde el Sistema Integrado de Gestión Operacional HSEMS constituye la estructura sobre el cual evolucionan la estrategia HSE, el desarrollo progresivo de capacidades organizacionales y la mejora continua de la gestión operacional. Esta arquitectura favoreció el fortalecimiento de la gestión de los riesgos, la disciplina operacional, el aprendizaje organizacional y la toma de decisiones preventivas,

contribuyendo tanto a la sostenibilidad de los resultados en HSE como al desempeño ambiental, social y de gobernanza observado durante el período analizado.

Modelo de generación de valor ESG a partir de la prevención sostenible de eventos de alto impacto

El análisis desarrollado permite interpretar que en el caso analizado, la sostenibilidad en la prevención de eventos de alto impacto y el desempeño ESG observado responden a una misma arquitectura de gestión organizacional. La investigación evidenció que la articulación entre el Sistema Integrado de Gestión Operacional HESMS y la estrategia HSE permitió desarrollar capacidades organizacionales que fortalecieron la prevención, consolidaron la excelencia operacional y generaron valor ambiental, social y de gobernanza.

La Figura 9 presenta el modelo conceptual resultante de la investigación. En su primer nivel, el Sistema Integrado de Gestión HESMS constituye la arquitectura de gestión operacional que integra políticas, estándares, procesos y mecanismos de gobernanza para asegurar una gestión coherente del riesgo y la mejora continua. Sobre esta arquitectura evolucionan las capacidades organizacionales identificadas como factores críticos de éxito: la cultura HSE, la gestión de riesgos críticos, el control del trabajo, el desarrollo de competencias y la tecnología e innovación.

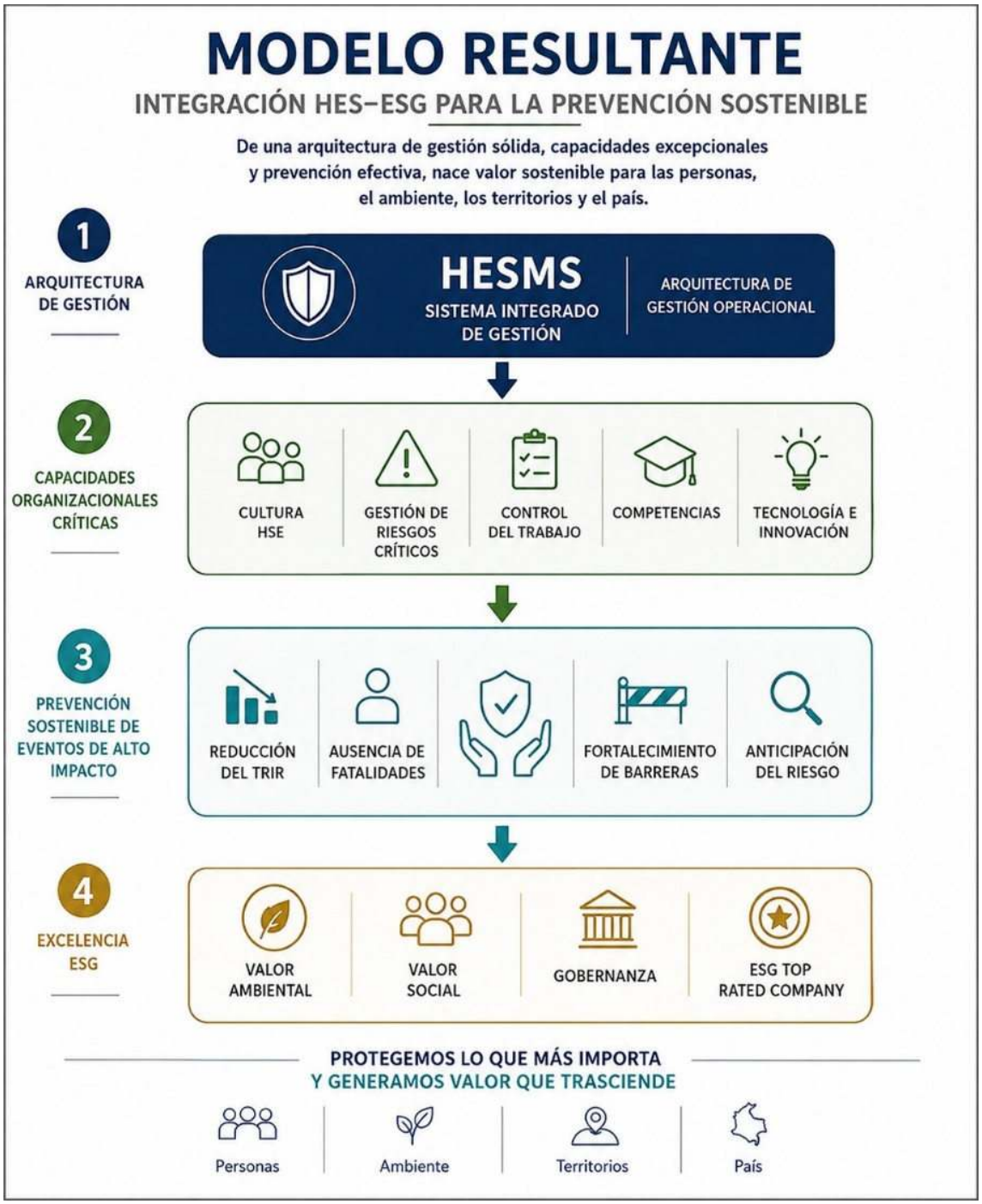


Figura 9 Modelo conceptual propuesto para la prevención sostenible de eventos de alto impacto y su contribución a la excelencia ESG

La interacción permanente de estas capacidades permitió fortalecer la anticipación del riesgo, mejorar la calidad de la planificación, consolidar barreras preventivas más robustas y desarrollar una cultura organizacional orientada a la intervención temprana y al aprendizaje continuo. Como consecuencia, la prevención de eventos de alto impacto dejó de depender de iniciativas aisladas para convertirse en una capacidad organizacional sostenible, reflejada en la reducción del TRIR, la ausencia de fatalidades y el fortalecimiento continuo de los controles críticos.

Finalmente, el modelo evidencia que estos resultados trascienden el desempeño operacional y se proyectan sobre las dimensiones ambiental, social y de gobernanza. La protección de la vida,

la gestión responsable de los riesgos, el fortalecimiento de las capacidades humanas, la innovación y la disciplina operacional contribuyen simultáneamente a la generación de valor para los trabajadores, las comunidades, los territorios donde opera la organización y el país. Bajo esta perspectiva, la excelencia ESG no constituye un objetivo independiente de la gestión HSE, sino la consecuencia natural de una arquitectura organizacional que integra la sostenibilidad con la forma de planear, ejecutar y mejorar las operaciones.

En este sentido, el modelo propuesto representa el principal aporte de esta investigación, al demostrar que la prevención sostenible de eventos de alto impacto puede consolidarse mediante el desarrollo de capacidades organizacionales articuladas dentro de un sistema de gestión robusto. Este enfoque ofrece una referencia para organizaciones de industrias de alto riesgo interesadas en fortalecer simultáneamente su desempeño en seguridad operacional y su contribución a la sostenibilidad y la excelencia ESG.

4. Conclusiones

La prevención sostenible de eventos de alto impacto constituye un componente relevante de la excelencia operacional y un elemento consistente con el desempeño ESG observado en el caso analizado. Los resultados permiten interpretar que el desempeño sostenido en seguridad no se explica únicamente por la reducción de los indicadores de accidentalidad, sino por la consolidación de una arquitectura de gestión capaz de anticipar riesgos, fortalecer barreras, sostener la disciplina operacional y promover el aprendizaje organizacional. En este contexto, el Sistema Integrado de Gestión Operacional (HESMS), estructurado bajo los principios del Operating Management System Framework (IOGP Report 510), se interpreta como la arquitectura que articula la estrategia HSE y el desarrollo progresivo de las capacidades organizacionales analizadas en este estudio, favoreciendo la consolidación de una gestión operacional madura y consistente.

Los hallazgos del estudio sugieren que la evolución de la estrategia HSE trasciende la incorporación de nuevas herramientas o procedimientos y se orienta al fortalecimiento progresivo de capacidades organizacionales. En el caso analizado, la cultura preventiva, la gestión dinámica de riesgos críticos, el control del trabajo, el desarrollo de competencias y la incorporación de tecnologías digitales fueron identificados como capacidades que fortalecen la anticipación del riesgo y favorecen la sostenibilidad de los resultados en seguridad operacional.

Los resultados obtenidos permiten interpretar que el desempeño ESG observado es coherente con la madurez alcanzada por la arquitectura de gestión y el fortalecimiento progresivo de las capacidades organizacionales desarrolladas durante el período de estudio. En este sentido, la protección de la vida, la gestión responsable de los riesgos, el fortalecimiento de barreras, el desarrollo de competencias y la disciplina operacional constituyen elementos que pueden aportar simultáneamente a la generación de valor ambiental, social y de gobernanza, integrando la sostenibilidad en la forma de gestionar las operaciones.

Este estudio se enfocó en la identificación de cinco capacidades organizacionales consideradas factores críticos que responden al principio estratégico de priorizar aquellos con mayor contribución al desempeño organizacional, reconociendo que la generación de valor depende más del fortalecimiento de capacidades estratégicas soportadas en la arquitectura del Sistema Integrado de Gestión Operacional HESMS, que de la incorporación de múltiples iniciativas independientes sin una integración efectiva dentro del sistema de gestión (Kaplan & Norton, 2004; Porter, 1996).

El modelo conceptual propuesto ofrece una ruta práctica y replicable para organizaciones que operan en industrias de alto riesgo. La integración entre una arquitectura de gestión robusta, el desarrollo progresivo de capacidades organizacionales y una estrategia HSE alineada con los

principios ESG constituye un modelo replicable que puede orientar procesos de transformación organizacional dirigidos a fortalecer la prevención de eventos de alto impacto, la excelencia operacional y la generación de valor sostenible para las personas, las comunidades y los territorios donde operan. El principal aporte de este estudio consiste en proponer una interpretación integradora de la relación entre la gestión HSE y el desempeño ESG a partir de un estudio de caso longitudinal. Los hallazgos sugieren que una arquitectura de gestión sólida, soportada en un Sistema Integrado de Gestión Operacional HESMS y fortalecida mediante capacidades organizacionales orientadas a la anticipación del riesgo y la protección de la vida, puede contribuir tanto a la sostenibilidad de los resultados en seguridad operacional como al desempeño ESG observado en la organización analizada. Aunque estos hallazgos corresponden a un caso específico, el modelo desarrollado constituye una base conceptual que puede ser utilizada y contrastada en futuras investigaciones y en otras organizaciones del sector.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial a las siguientes personas de SierraCol Energy por su liderazgo, direccionamiento, orientación y apoyo durante el desarrollo de la estrategia HSE y la consolidación del modelo de gestión que dio origen a esta investigación:

Bernardo Ortiz – CEO SierraCol Energy

Carlos Velasco – Vicepresidente de Sostenibilidad

Cesar Aragón – Gerente HS

Diana Abaunza – Gerente de Derechos Humanos y Comunicaciones Corporativas

Luisa Vargas – Consultora Senior Responsabilidad Social

Norma Lorena Gomez – Supervisor de Sostenibilidad y desempeño ESG

Cristian Solano – Supervisor Senior HSE LCI

Bibliografía

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2004). Strategy maps: Converting intangible assets into tangible outcomes. Harvard Business School Press.

Rumelt, R. P. (2011). Good strategy bad strategy: The difference and why it matters. Crown Business.

Porter, M. E. (1996). What is strategy? Harvard Business Review, 74(6), 61–78.

Sustainalytics. (2025). ESG Risk Ratings Methodology. Morningstar Sustainalytics. https://www.sustainalytics.com/esg-ratings

International Association of Oil & Gas Producers. (2026). Safety performance indicators – 2025 data. https://www.iogp.org/bookstore/

International Association of Oil & Gas Producers. (2014). Operating Management System Framework (IOGP Report 510). https://www.iogp.org/workstreams/safety/safety/managementsystems/

SierraCol Energy. (2023). Informe de sostenibilidad 2022. https://www.sierracolenergy.com/esg

SierraCol Energy. (2024). Informe de sostenibilidad 2023. https://www.sierracolenergy.com/esg

SierraCol Energy. (2025). Informe de sostenibilidad 2024. https://www.sierracolenergy.com/esg

SierraCol Energy. (2026). Informe de sostenibilidad 2025. https://www.sierracolenergy.com/esg

INFLUENCIA DE LA CULTURA MEXICANA EN EL USO DEL EQUIPO DE SEGURIDAD INDUSTRIAL

INFLUENCE OF MEXICAN CULTURE ON THE USE OF INDUSTRIAL SAFETY EQUIPMENT

María Guadalupe Obregón Sánchez

Instituto Politécnico Nacional, mobregon@ipn.mx

Grecia Romero Blanco

Instituto Politécnico Nacional, gromerob1800@alumno.ipn.mx

Abstract

La presente investigación analiza la influencia de la cultura mexicana en el uso del equipo de seguridad industrial, específicamente del equipo de protección personal. En el contexto mexicano, el comportamiento de los trabajadores ante las normas de seguridad está estrechamente relacionado con factores culturales como la obediencia jerárquica, la preferencia por la estabilidad y el colectivismo. A partir del análisis de fuentes documentales y académica, se evidencia qué, si bien estos valores pueden facilitar el cumplimiento pasivo de órdenes, también representan una barrera para la adopción crítica y consciente de prácticas de prevención de riesgos.

Así mismo, se abordan los elementos que componen una cultura organizacional de seguridad sólida, como la comunicación efectiva, el liderazgo ejemplar, la capacitación adaptada y la participación del personal. Se enfatiza que no basta con proveer el equipo de protección personal, sino que es indispensable fomentar una cultura de seguridad interdependiente, donde cada trabajador incorpore la prevención como parte de su identidad profesional.

También debemos tomar en consideración que el mexicano está acostumbrado por su cultura a decir no pasa nada, así lo hemos hecho casi siempre, hemos trabajado así durante muchos años y no pasa nada, consideramos que es difícil cambiar esa mentalidad hasta que no esté consciente realmente del peligro que tiene en su lugar de trabajo o su actividad laboral.

Abstract en inglés

This study examines the influence of Mexican cultural factors on the use of industrial safety equipment, with particular emphasis on personal protective equipment (PPE). Within the Mexican context, workers' adherence to safety regulations is strongly influenced by cultural characteristics such as hierarchical obedience, a preference for stability, and collectivist orientations. An analysis of academic and documentary sources reveals that, although these cultural traits may promote passive compliance with established rules, they can also hinder the critical, informed, and proactive adoption of occupational risk prevention practices.

Furthermore, the study analyzes the key components of a robust organizational safety culture, including effective communication, exemplary leadership, context-adapted training, and active worker participation. It is argued that the mere provision of personal protective equipment is insufficient to ensure safe behavior. Instead, fostering an interdependent safety culture is essential, wherein workers internalize risk prevention as an integral part of their professional identity.

Additionally, this research highlights a culturally rooted perception commonly expressed as "nothing will happen," reflecting a normalization of risk based on long-standing work practices

without apparent adverse outcomes. This perception represents a significant challenge to safety improvement efforts, as it reinforces risk tolerance and resistance to behavioral change. Meaningful transformation of this mindset typically occurs only when workers develop a concrete awareness of the actual hazards associated with their occupational activities.

Palabras Clave

cultura, cultura organizacional, cultura del mexicano, influencia y equipo de seguridad industrial. culture, organizational culture, Mexican culture, influence, and industrial safety equipment.

1. Introducción

En los últimos años, la seguridad industrial ha evolucionado no sólo para convertirse en una estrategia organizacional que busca aumentar la productividad y prevenir riesgos laborales, si no ha implicado una revalorización del papel que juegan los factores humanos y culturales en el cumplimiento de las prácticas de seguridad.

Uno de los elementos más influyentes, a menudo subestimado, es la cultura laboral. Éste comprende los valores, actitudes, creencias y hábitos que los trabajadores han interiorizado a lo largo de su vida y que influyen en forma directa en su comportamiento dentro del entorno laboral. En este sentido el uso del equipo de protección personal no depende únicamente de que las empresas lo provean sino de que los trabajadores estén convencidos de su utilidad y lo integren como parte natural de su rutina de trabajo.

En el contexto mexicano, este aspecto cobra particular relevancia debido a las características socioculturales que históricamente han moldeado la forma de trabajar, obedecer, convivir y percibir el riesgo. México presenta una cultura laboral compleja, donde coexisten valores tradicionales como el respeto a la autoridad y la búsqueda de estabilidad, con tendencias vinculadas a la autonomía, la autorrealización y el empoderamiento del trabajador. Está dualidad genera tanto oportunidades como resistencia en la adopción de conductas seguras y en el cumplimiento de protocolos de seguridad industrial.

Según la Organización Internacional del Trabajo a diario ocurren cerca de 868 mil accidentes de trabajo de los cuales, 1,100 suceden en México, por lo cual la secretaría del trabajo y previsión social fomenta entre los patrones y los empleados el cumplimiento de sus obligaciones en seguridad y salud a fin de reducir riesgos ya que muchos de ellos ocurren por la omisión en el uso del equipo de protección personal o la baja calidad de sus materiales. Sin embargo, el problema no es meramente normativo, sino cultural ya que muchos trabajadores no perciben el equipo de protección personal como una herramienta indispensable para su protección, sino como un estorbo, una imposición externa o una formalidad innecesaria.

En este contexto, la presente investigación se propone analizar cómo la cultura mexicana influye en el uso del equipo de seguridad industrial, particularmente el equipo de protección personal, y que estrategias pueden adoptarse para fomentar una cultura de seguridad más sólida y efectiva. A través de una revisión de literatura, documentos normativos, se explorarán las características del trabajador mexicano, la interacción entre cultura organizacional y seguridad y las buenas prácticas en concientización y capacitación.

2. Metodología

La investigación requirió de un enfoque cualitativo que permitió comprender e interpretar el significado de los elementos culturales que influyen en el comportamiento de los trabajadores mexicanos respecto al uso del equipo de protección personal. La metodología es de tipo documental, dado que se fundamenta en la revisión de diversas fuentes que permiten construir una visión crítica del fenómeno estudiado.

Los hallazgos obtenidos se dividieron en categorías claves como la cultura del trabajador mexicano, cultura organizacional y de seguridad, factores culturales que dificultan el uso del equipo de protección personal y estrategias de concientización y capacitación. Estas categorías no fueron impuestas, sino que emergieron de manera inductiva durante el proceso de interpretación de las fuentes. Finalmente, esta investigación derivó a conclusiones y propuestas de mejora, con base en evidencia documentada y el análisis interpretativo realizado.

3. Resultados y discusión de resultados

La cultura del trabajador mexicano es el resultado de un proceso histórico profundamente marcado por el colonialismo, el modelo hacendario y el desarrollo desigual del país. México se estructuró en torno a jerarquías rígidas, donde el patrón concentraba el poder y el trabajador debía obedecer.

Como lo señala Rodríguez & Ramírez (2004), la cultura laboral inicial se basaba en el principio “yo soy el dueño, ustedes me obedecen”, lo que instauró una lógica de subordinación y dependencia que perdura en muchas organizaciones contemporáneas, especialmente en sectores industriales tradicionales o con poca presencia sindical.

Rasgos tradicionales

De acuerdo con estudios de Mendoza (2010) el trabajador mexicano tradicional se ha caracterizado por la necesidad de estabilidad, lo que lo lleva a buscar empleos con ingresos constantes, aun cuando estos no representen oportunidades de desarrollo.

Por ejemplo, la investigación de Medrano López y Ahumada Tello (2018) sobre la percepción de valores culturales en trabajadores de la industria maquiladora destaca la centralidad de la familia y la espiritualidad en la vida laboral. Los autores encontraron que estos valores influyen significativamente en la percepción del desempeño laboral sugiriendo que la motivación de muchos trabajadores mexicanos está profundamente arraigada en la necesidad de proveer y mantener la armonía familiar. Es decir, el cumplimiento de tareas se hace más por compromiso social o familiar que por metas personales (autorrealización).

En general el trabajador mexicano tradicional se caracteriza por tener una fuerte orientación hacia la autoridad, resultado de un entorno cultural históricamente estructurado de forma vertical. Desde el período colonial hasta el modelo económico postrevolucionario, el trabajador mexicano ha sido socializado en sistemas donde la figura del patrón o jefe no solo ejerce un poder económico sino también moral y simbólico.

Esta dependencia jerárquica se manifiesta en la necesidad de aprobación del superior, el temor a la confrontación o a expresar desacuerdos, y la tendencia a evitar decisiones autónomas en el ámbito de la seguridad industrial, esto puede traducirse en la no utilización del equipo de protección personal si el líder inmediato no lo utiliza o no lo exige expresamente. También se puede generar una cultura de silencio frente a condiciones inseguras, ya que se teme “quedar mal” con los superiores al señalar errores o proponer mejoras (Rodríguez & Ramírez, 2004).

Y aunque esta dependencia puede facilitar la obediencia en contextos formales limita la propia actividad y la toma de decisiones responsables, ambas fundamentales en una cultura de seguridad sólida. En ambientes donde se requiere autonomía crítica como la detección de riesgos laborales, esta característica puede ser un obstáculo significativo.

Otro concepto es la autoestima laboral que hace referencia a la valoración que el trabajador tiene de sí mismo en su rol productivo. Donde el trabajador mexicano se caracteriza por tener una autoimagen deteriorada influida por factores históricos y sociales como la desigualdad, el autoritarismo organizacional y el bajo acceso a la educación formal. La baja autoestima laboral se refleja en expresiones como “yo solo soy un obrero” o “yo no estudié, por eso no opino” que dan cuenta de una percepción limitada del propio valor profesional. Esto lleva a que muchos trabajadores se sientan incapaces de aportar ideas, tomar iniciativas o cuestionar decisiones, incluso cuando éstas ponen en riesgo su seguridad (Rodríguez & Ramírez, 2004).

En relación con el equipo de protección personal un trabajador con baja autoestima puede minimizar su derecho a exigir condiciones seguras, aceptar equipos en mal estado o incluso no utilizarlos por pensar que su integridad no es tan importante como la de “los de arriba”. Esta actitud pasiva disminuye la efectividad de cualquier política de seguridad que no está acompañada de un proceso de fortalecimiento individual y colectivo del sentido de valía personal.

Efectos en la seguridad industrial

Un trabajador mexicano tradicional prefiere un entorno estable y predecible antes que asumir riesgos para crecer profesionalmente, es decir existe una inclinación a conservar el puesto de trabajo incluso bajo condiciones precarias, evitando la confrontación o la exigencia de mejores condiciones. Esta mentalidad también lleva a rechazar cambios como nuevos procesos, normas de seguridad más estrictas o la implementación de nuevas tecnologías, por considerarlas amenazas a la rutina laboral conocida (Rodríguez & Ramírez, 2004). En el campo de la seguridad industrial esto puede derivar en resistencia a la capacitación rechazo a nuevas formas de trabajo más seguras o justificación de prácticas inadecuadas por la frase común “así lo he hecho siempre y no ha pasado nada”.

En la actualidad, estas características del trabajador mexicano representan una barrera para la construcción de entornos de trabajo seguros, participativos y adaptativos a los nuevos desafíos industriales. Transformar esta realidad implica más que normas se requieren de estrategias que refuercen la autonomía del trabajador, eleven su autoestima y lo conviertan en un agente activo de la seguridad, no sólo en un ejecutor pasivo de órdenes. La psicología del trabajo junto con la cultura organizacional debe ser aprovechada para diseñar entornos donde la dignidad, el aprendizaje y la participación sean parte de la seguridad industrial.

Además, Mendoza (2010) identificó que las características más valoradas en un trabajador mexicano son, la responsabilidad, ser activo, inteligente, ordenado y puntual. Estas cualidades representan lo que socialmente se espera de un buen empleado. En cuanto a la convivencia laboral, los compañeros ideales son considerados como: honestos, cooperativos, amigables, confiables y trabajadores. Esto refleja un fuerte sentido de colectivismo y solidaridad, elementos profundamente arraigados en la cultura nacional.

Estos rasgos culturales pueden influir en la adopción del equipo de protección personal, por ejemplo, si un trabajador es obediente seguramente seguirá las instrucciones de seguridad si su jefe lo indica, por lo cual al ser los principales promotores de la seguridad, actúan como mensajeros transmitiendo al resto de la comunidad los mensajes que reciben de sus superior o de los programas de capacitación. Por lo tanto, son quienes posibilitan las mejoras en la seguridad laboral.

Educación y cultura laboral

Otro elemento importante dentro de la cultura mexicana es la baja cobertura y calidad educativa en México. Pues sólo el 36% de los adultos mexicanos ha concluido la secundaria, comparado con un 75% del promedio internacional. Esto repercute en dificultades para comprender instrucciones complejas de seguridad, una escasa habilidad para interpretar simbología técnica o advertencias e incluso una menor capacidad crítica frente a riesgos. Por ello, las campañas de seguridad industrial deben considerar el contexto educativo y utilizar recursos didácticos adaptados, por ejemplo, utilizar un lenguaje sencillo o elementos visuales.

Cultura organizacional y cultura de seguridad

La cultura organizacional se define como el conjunto de valores, creencias, normas y prácticas compartidas que guían el comportamiento de los miembros de una organización (Hernández et al., 2022). Cuando se incorpora la seguridad como un valor organizacional, se habla de cultura de seguridad.

Una cultura de seguridad sólida implica que los trabajadores actúan de manera segura incluso cuando no están siendo supervisados, internalizando prácticas preventivas como hábitos cotidianos (Martínez & Cremades, 2012). Esta cultura no surge espontáneamente, sino que debe ser promovida activamente por la organización a través del liderazgo, la capacitación, la comunicación efectiva y la participación de todos los niveles jerárquicos

La cultura del trabajador mexicano influye de manera decisiva en la adopción de prácticas de seguridad industrial, especialmente en lo que respecta al uso del equipo de protección personal. Esta influencia no puede ser comprendida únicamente desde la lógica normativa o técnica, cuestiona desde una perspectiva sociocultural y psicológica que permite analizar el origen de las conductas laborales, las actitudes frente al riesgo y la forma en que se concibe la autoridad y la responsabilidad en el trabajo.

Cómo se ha demostrado, la dependencia jerárquica, la baja autoestima laboral y la preferencia por la estabilidad sobre el desarrollo profesional siguen siendo características prevalentes entre los trabajadores mexicanos. Estas actitudes, aunque comprensibles por su origen histórico y estructural, constituyen barreras significativas para el establecimiento de una cultura de seguridad sólida, proactiva y sostenible. La resistencia al cambio, la pasividad frente al peligro o la normalización de prácticas riesgosas, son síntomas de una cultura que aún no han integrado la seguridad como un valor interiorizado.

Ante este panorama, las organizaciones tienen un papel central en la transformación cultural. Una verdadera cultura de seguridad no se logra mediante imposiciones ni campañas aisladas, si no a través de la construcción de un ambiente organizacional que promueva la participación, la comunicación abierta y la ausencia de intimidación. Es fundamental que los trabajadores se sientan libres y respaldados para señalar riesgos, proponer mejoras y tomar decisiones preventivas sin temor a represalias. Cómo lo indican Martínez y Cremades (2012), esta atmósfera de confianza y respeto mutuo es la base sobre la que puede desarrollarse una cultura de seguridad interdependiente.

Además, el compromiso con la seguridad debe trascender los discursos institucionales. Debe evidenciarse en acciones concretas: inversión en capacitación adaptada, liderazgo ejemplar en todos los niveles jerárquicos, y diseño de estrategias flexibles que se ajusten a los cambios del entorno industrial. Un enfoque organizacional verdaderamente eficaz es aquel que logra que los trabajadores incorporen los valores de la seguridad como parte de su propia identidad laboral, y que actúen conforme a ellos incluso en ausencia de supervisión.

La experiencia demuestra que enfocarse únicamente en la prevención de causas físicas de los accidentes no garantiza la eliminación de los incidentes. Es necesario actuar sobre los factores

humanos y culturales que perpetúan la inseguridad. En este sentido, formar una cultura organizacional fuerte positiva y comprometida no es una tarea rápida ni superficial; requiere tiempo, esfuerzo sostenido y la participación de todos los actores de la organización (Hernández et al., 2022).

4. Conclusiones

fomentar una cultura de seguridad industrial en el contexto mexicano exige reconocer, comprender y transformar los elementos culturales que condicionan la conducta del trabajador. No se trata de erradicar la cultura tradicional, sino de evolucionarla hacia una visión en la que la seguridad sea entendida como un valor colectivo, ético y estratégico. Sólo así será posible construir entornos laborales donde la protección de la vida y la salud de los trabajadores no dependa de la vigilancia constante, sino de una convicción profunda compartida por todos.

La presente investigación permitió confirmar que la cultura mexicana constituye un factor determinante en la forma en que los trabajadores perciben el riesgo y utilizan el equipo de protección personal dentro de los entornos laborales. A partir de la revisión documental realizada, se identificó que variables culturales como la obediencia a la autoridad, la preferencia por la estabilidad laboral, el colectivismo, la baja autoestima laboral y la normalización del riesgo influyen de manera significativa en la adopción de conductas preventivas. Estas características pueden favorecer el cumplimiento de instrucciones cuando existe supervisión directa; sin embargo, también limitan el desarrollo de una cultura de seguridad basada en la autonomía, la responsabilidad individual y la participación activa del trabajador.

Uno de los hallazgos más relevantes es que la resistencia al uso del equipo de protección personal no puede explicarse únicamente por factores técnicos o por el desconocimiento de las normas de seguridad. En numerosos casos, dicha resistencia está relacionada con creencias y prácticas profundamente arraigadas en la cultura laboral mexicana, reflejadas en expresiones como "no pasa nada" o "siempre lo hemos hecho así", que favorecen la aceptación cotidiana del riesgo y disminuyen la percepción del peligro. Esta normalización constituye una de las principales barreras para consolidar ambientes de trabajo seguros.

Asimismo, la investigación pone de manifiesto que proporcionar equipo de protección personal y establecer procedimientos de seguridad resulta insuficiente cuando no existe una cultura organizacional que respalde dichas acciones. La prevención efectiva requiere organizaciones comprometidas con la construcción de una cultura de seguridad en la que directivos, supervisores y trabajadores compartan valores, responsabilidades y objetivos comunes. En este sentido, el liderazgo visible, la comunicación abierta, la capacitación continua y contextualizada, así como la participación de los trabajadores en la identificación y control de riesgos, representan elementos indispensables para fortalecer el comportamiento seguro.

Los resultados también evidencian que las características culturales del trabajador mexicano no deben interpretarse exclusivamente como obstáculos. Rasgos como el sentido de pertenencia, la solidaridad, el compromiso con la familia, la cooperación y el respeto hacia la autoridad pueden convertirse en fortalezas cuando son adecuadamente orientados por la organización. Aprovechar estos valores permite diseñar estrategias de seguridad acordes con el contexto cultural, favoreciendo una mayor aceptación del equipo de protección personal y una participación más activa en la prevención de accidentes.

Desde una perspectiva práctica, este estudio aporta elementos que pueden servir de base para que las organizaciones diseñen programas de seguridad que integren componentes culturales y psicosociales, además de los aspectos técnicos y normativos. Las campañas de concientización,

los programas de capacitación y las políticas organizacionales tendrán mayores probabilidades de éxito cuando consideren las particularidades culturales de los trabajadores y promuevan el desarrollo de una conciencia preventiva sustentada en la convicción y no únicamente en la obligación.

Finalmente, esta investigación reafirma que la seguridad industrial debe entenderse como un fenómeno multidimensional en el que interactúan factores técnicos, organizacionales, humanos y culturales. En consecuencia, fomentar una cultura de seguridad en el contexto mexicano exige reconocer y transformar aquellos patrones culturales que favorecen la aceptación del riesgo, fortaleciendo al mismo tiempo los valores que impulsan el cuidado colectivo y la responsabilidad compartida. Solo mediante este cambio cultural será posible construir organizaciones donde la protección de la vida y la salud deje de depender de la supervisión constante y se convierta en un valor interiorizado por todos los integrantes de la organización.

Como línea de investigación futura, resulta pertinente realizar estudios empíricos que permitan medir la influencia de los factores culturales sobre el uso del equipo de protección personal en distintos sectores productivos, así como desarrollar y validar instrumentos que evalúen la relación entre cultura organizacional, cultura nacional y comportamiento seguro. Ello contribuirá a diseñar estrategias de intervención más eficaces y adaptadas a la realidad de las organizaciones mexicanas.

Damos nuestro agradecimiento al Instituto Politécnico Nacional, por el apoyo brindado para llevar a cabo el presente estudio que nos permite conocer aspectos más profundos del comportamiento del trabajador mexicano.

Bibliografía

López, D. M. & Tello, E. A. (2018). Percepción de valores culturales en trabajadores y su importancia en el desempeño en la industria maquiladora. Contaduría Y Administración, 63(3), 44. https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1264

Rodríguez, E. M. & Ramírez, B. P. (2004). Psicología del mexicano en el trabajo. 2da ed. Mc Graw Hill. Interamericana. ISBN 13: 978-970-10-4281-6

Peniche, A. R. (2025). Psicología de la salud laboral en México. UNAM. Facultad de Psicología. ISBN 9786073069007

Martínez, C. O., & Cremades, L. V. (2012). Liderazgo y cultura en seguridad: su influencia en los comportamientos de trabajo seguros de los trabajadores. Redalyc.org. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=375839305006

Mendoza, J. (2010). Permanencia y evolución de la cultura laboral en México. El marco de referencia o modelo mental de trabajadores en organizaciones mexicanas. http://eprints.uanl.mx/12532/1/A6.pdf

Hernández, Y. G., Ríos, C. T. D., & Torres, W. E. R. (2022). Cultura organizacional y cultura de seguridad: una revisión de la literatura. https://www.redalyc.org/journal/7337/733776333008/html/

Heroes of Life: A Comprehensive Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) Model to Reduce Occupational Injuries and Promote Organizational Well-being in a Multicampus University

Guillermo Alberto Paba Daza

Cooperative University of Colombia

guillermo.pabad@ucc.edu.co

Gloria Lucía Franco Cano

Cooperative University of Colombia

gloria.franco@ucc.edu.co

Abstract

Background: Occupational Health and Safety Management Systems (OHSMS) have evolved from compliance-oriented approaches toward strategic management models focused on worker well-being, organizational resilience, and sustainable institutional performance.

Objective: To evaluate the implementation of the institutional "Heroes of Life" model and its contribution to Occupational Health and Safety performance at the Cooperative University of Colombia during the period 2021–2025.

Methods: A quantitative, descriptive, longitudinal, and observational study was conducted using institutional OHSMS records. Key indicators included Occupational Injuries, lost workdays, frequency rate (FR), severity rate (SR), worker participation, emergency preparedness, and health promotion activities.

Results: Occupational Injuries decreased from 227 cases in 2023 to 165 cases in 2025, representing a reduction of 27.3%. Participation in prevention programs increased from 72% to 88%. The implementation of the model contributed to strengthening worker engagement, safety culture, organizational learning, and evidence-based decision-making processes.

Conclusions: The Heroes of Life model demonstrates that integrating leadership, worker participation, health promotion, continuous education, and continuous improvement within an OHSMS can improve safety performance, worker well-being, and organizational sustainability in higher education institutions.

Palabras Clave

Occupational Health and Safety, ISO 45001, Safety Culture, Organizational Resilience, Higher Education, Occupational Injuries, Continuous Improvement. Occupational Health, Occupational Safety, ISO 45001, Safety Culture, University, Occupational Injuries, Absenteeism, Continuous Improvement, Leadership, Well-being

1. Introducción

Occupational Health and Safety Management Systems (OHSMS) have evolved from compliance-oriented approaches toward strategic organizational management models focused on worker well-being, organizational resilience, and sustainable performance (ISO, 2018; ILO, 2001). This transformation has been influenced by international frameworks such as ISO 45001, ILO-OSH 2001, Vision Zero, and the Sustainable Development Goals (SDGs), which recognize occupational health and safety as a fundamental component of sustainable organizational development.

Higher Education Institutions represent particularly complex organizational environments due to the diversity of activities carried out simultaneously by academic staff, researchers, administrative personnel, healthcare professionals, maintenance teams, contractors, students, and external stakeholders. These heterogeneous operational contexts generate multiple occupational hazards requiring integrated management strategies capable of addressing physical, biological, ergonomic, psychosocial, mechanical, chemical, and road safety risks within a unified organizational framework.

In Colombia, universities have strengthened their Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) (SG-SST) in accordance with Decree 1072 of 2015 and Resolution 0312 of 2019. However, despite significant regulatory progress, many institutional approaches continue to focus predominantly on legal compliance rather than organizational transformation through preventive leadership and worker engagement.

Conceptual Foundations

Safety culture has been widely recognized as one of the most influential factors affecting occupational health and safety performance. According to Cooper (2000), safety culture reflects the interaction between organizational systems, employee attitudes, and observable safety-related behaviors.

Hudson (2007) proposes that organizations progress through different levels of safety maturity, from reactive responses to proactive and generative safety cultures supported by leadership commitment and workforce engagement.

From a resilience engineering perspective, Hollnagel (2014) introduced the Safety-II concept, emphasizing the importance of understanding organizational successes and adaptive capacities rather than focusing exclusively on failures and accidents.

Recognizing these challenges, the Cooperative University of Colombia designed and implemented the institutional model entitled "Heroes of Life", conceived as an organizational management strategy that integrates occupational risk prevention with human development, institutional culture, leadership, innovation, and continuous improvement.

Unlike traditional safety management approaches, Heroes of Life promotes the active participation of all organizational levels by positioning every worker as an essential contributor to institutional safety performance. The model combines strategic leadership, health promotion, occupational risk management, emergency preparedness, road safety, psychosocial intervention, training programs, healthy lifestyles, communication strategies, recognition mechanisms, and data-driven decision making into a integrated prevention approach framework.

The implementation of this institutional model has been progressively consolidated throughout the University between 2021 and 2025, allowing the systematic monitoring of key Occupational Health and Safety indicators such as Occupational Injuries, absenteeism, severity

index, frequency index, training coverage, emergency preparedness, and participation in preventive programs.

This paper presents the methodological foundations of the Heroes of Life model and analyzes its contribution to strengthening organizational safety culture through the evaluation of institutional Occupational Health and Safety indicators between 2021 and 2025. The findings provide evidence of how integrated management strategies can positively influence worker protection, organizational resilience, and institutional sustainability within multicampus higher education institutions.

Finally, this study contributes to the growing body of evidence supporting comprehensive Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) as strategic organizational tools capable of generating measurable improvements in safety performance while simultaneously promoting worker well-being, institutional excellence, and sustainable organizational development.

General Objective

The objective of this research is to evaluate the implementation of the institutional model "Heroes of Life" and its contribution to the improvement of Occupational Health and Safety indicators in the Cooperative University of Colombia during the period 2021–2025.

Specific objectives

Analyze the evolution of Occupational Injuries between 2021 and 2025.

Evaluate absenteeism trends associated with occupational health.

Describe the institutional management model Heroes of Life.

Assess the contribution of preventive strategies to organizational safety culture.

Identify opportunities for continuous improvement within the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System.

2. Metodología

Study Design

This research was conducted using a quantitative, descriptive, longitudinal, and observational design, supported by institutional data obtained from the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System (OHSMS) of Cooperative University of Colombia.

The study analyzes the institutional behavior of Occupational Health and Safety indicators over a five-year period (2021–2025), allowing the identification of trends, organizational changes, and the impact of the institutional prevention strategy called Heroes of Life.

The research follows a continuous improvement approach based on the Plan–Do–Check–Act (PDCA) cycle established by ISO 45001:2018.

Research Approach

The study adopts a mixes institutional management perspective that combines:

Quantitative analysis of Occupational Health indicators.

Qualitative interpretation of organizational strategies.

Longitudinal evaluation of preventive interventions.

Institutional performance assessment.

Rather than evaluating isolated interventions, the research examines the comprehensive implementation of a prevention culture integrated into organizational management.

Population and Scope

The study included the entire administrative, students and academic workforce of the Cooperative University of Colombia distributed across its multicampus national structure.

The institutional analysis considered information from all regional campuses operating during the study period.

The population included: Administrative employees, Professors, Students, Healthcare personnel, Maintenance personnel, Infrastructure personnel, Administrative services, National offices, Regional campuses

This institutional coverage allowed the evaluation of the model under heterogeneous occupational environments.

Data Sources

The research used secondary institutional information obtained from:

• Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System (SG-SST)

• Institutional Occupational Accident Database

• Occupational Disease Records

• Lost Workdays Records

• Human Resources Information System

• Occupational Risk Matrix

• Emergency Preparedness Records

• Road Safety Strategic Plan (PESV)

• Occupational Medicine Reports

• Internal Management Indicators

• Annual Management Reports

The information corresponds to officially validated institutional records.

Study Variables

Independent Variable: The evaluation considered the following variables

Implementation of the institutional management model: Heroes of Life

Dependent Variables: Occupational Accident Frequency, Occupational Accident Severity, Lost Workdays, Lost Workdays , Participation in Training Programs

Participation in Emergency Brigades, Road Safety Activities, Health Promotion Activities, Occupational Risk Intervention, Continuous Improvement Actions, Leadership Participation, Safety Culture Strengthening.

Institutional Indicators Evaluated

The following indicators were analyzed: Number of Occupational Injuries, Occupational accident rate, Frequency Index, Severity Inde, Incidence Rate, Lost Workdays , Days lost, Occupational disease follow-up, Training coverage, Emergency preparedness coverage, Participation in prevention campaigns, Preventive inspections, Corrective actions, Preventive actions, Internal audits, Management reviews, Legal compliance.

These indicators constitute the institutional monitoring framework used by the University for evaluating Occupational Health and Safety performance.

Statistical Analysis

A descriptive statistical analysis was performed using institutional annual records.

The analysis included: Annual trend análisis, Percentage variation, Comparative evaluation between years, Graphical representation, Institutional performance análisis, Preventive management evaluation.

The interpretation focused on identifying improvements associated with the implementation of the Heroes of Life model.

No inferential statistical methods were applied because the study evaluated the complete institutional population rather than a representative sample.

Institutional Prevention Model: Heroes of Life

The Heroes of Life model was conceived as an institutional strategy that transcends traditional Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) by integrating prevention into organizational culture.

The model is structured around five strategic pillars:

Strategic Leadership: Senior management commitmen, Decision-making based on indicators, Resource allocation, Policy deployment, Institutional governance.

Well-being: Promotion of healthy lifestyles, Occupational medicine, Mental health, Psychosocial risk management, Health promotion, Occupational rehabilitation.

Training: Continuous Education; Competency development, Virtual learning, Face-to-face workshops, Simulation exercises, Emergency drills, Knowledge transfer.

Participation: COPASST, Emergency brigades, Road Safety Committee, Occupational inspections, Reporting culture, Worker engagement, Recognition programs.

Continuous Improvement: Internal audits, Management review, Indicator monitoring, Lessons learned, Corrective actions, Preventive actions, Innovation, Organizational learning.

Ethical Considerations

The study used institutional information consolidated for management purposes.

No personal or sensitive employee information was disclosed.

The analysis was performed under confidentiality principles established by institutional policies and applicable Colombian regulations on personal data protection.

Methodological Innovation

The methodological contribution of this research lies in proposing an organizational management framework in which Occupational Health and Safety is not treated as an isolated compliance system but as a strategic institutional model integrated with leadership, organizational culture, well-being, continuous education, and evidence-based decision-making.

This approach enables the transformation of preventive management into an institutional capability supporting organizational sustainability.

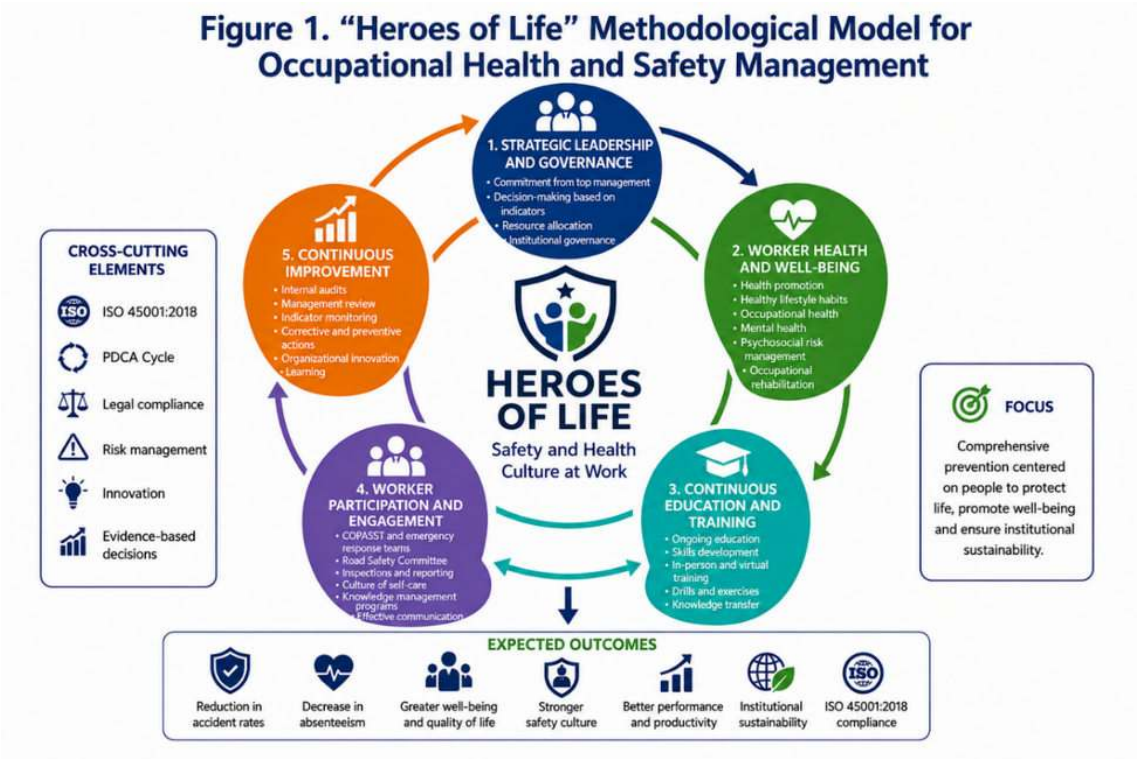


Figure 1. "Heroes of Life" Methodological Model for Occupational Health and Safety Management System (OHSMS)

3. Resultados y discusión de resultados

Evolution of Occupational Injuries (2021–2025)

The institutional analysis of Occupational Injuries during the period 2021–2025 showed the progressive consolidation of the Heroes of Life prevention strategy across all campuses of Cooperative University of Colombia.

The annual monitoring of Occupational Injuries allowed the identification of organizational trends associated with preventive interventions, continuous training, leadership involvement, and the strengthening of the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System.

Overall, the institutional results demonstrated a favorable evolution in occupational safety performance throughout the study period, particularly after the systematic implementation of preventive campaigns, risk-based inspections, emergency preparedness activities, and behavioral safety initiatives.

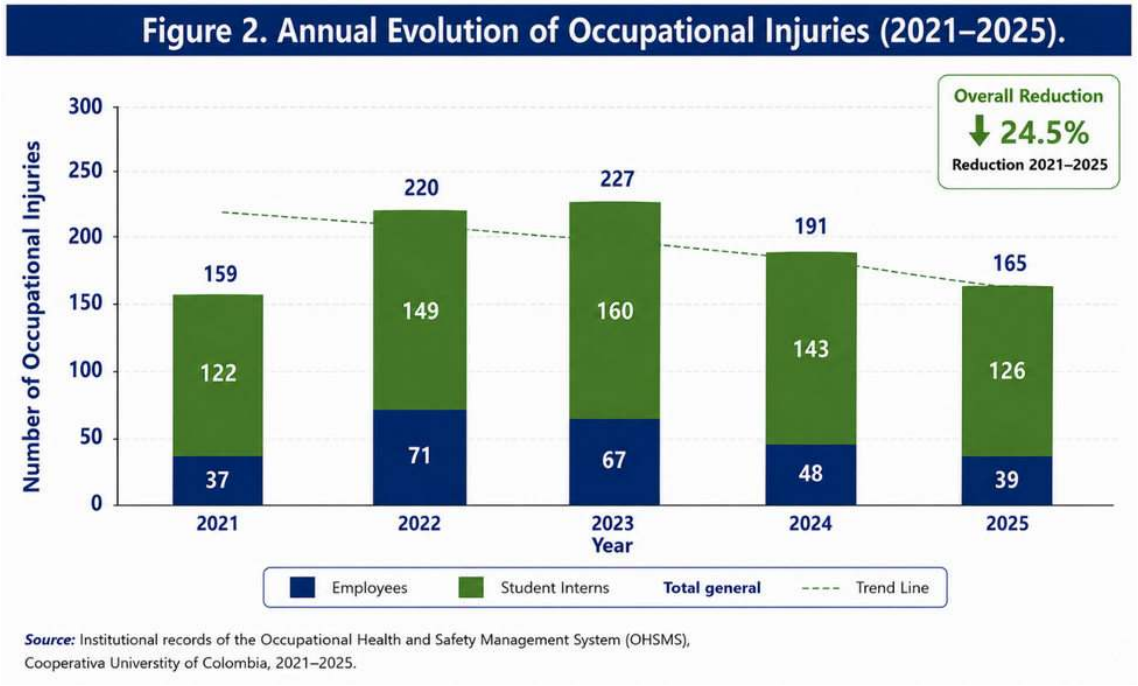


Figure 2. Annual Evolution of Occupational Injuries (2021–2025)

Technical interpretation

The longitudinal trend suggests that preventive management became progressively integrated into organizational culture, reducing exposure to occupational hazards and improving institutional awareness regarding accident prevention.

ccupational injuries decreased from 227 cases in 2023 to 165 cases in 2025, representing a reduction of 27.3%.

The implementation of the Heroes of Life model promoted greater participation of workers, strengthening preventive behaviors and increasing compliance with institutional safety procedures.

Lost Workdays

Lost Workdays was analyzed as one of the strategic indicators reflecting both worker health and organizational performance.

The institutional records show the annual behavior of absenteeism associated with occupational causes, allowing the identification of trends related to health promotion strategies, occupational medicine programs, ergonomic interventions, psychosocial risk management, and return-to-work processes.

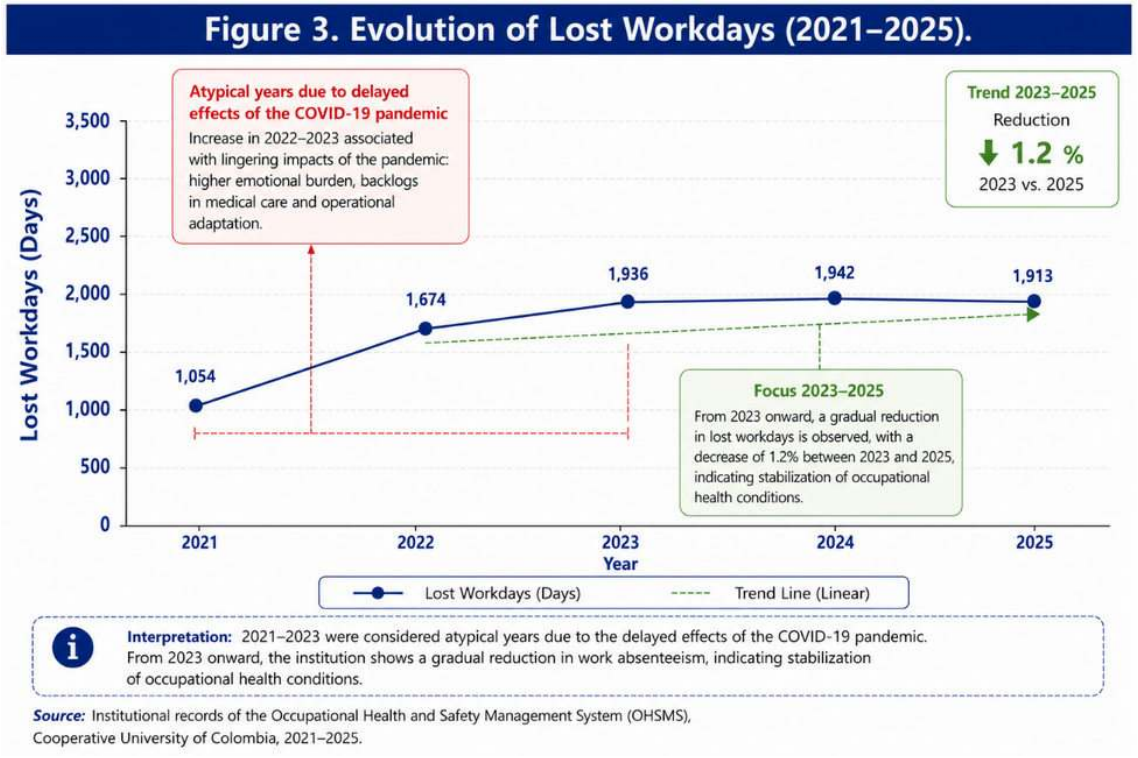


Figure 3. Evolution of Lost Workdays (2021–2025).

Technical interpretation

The implementation of integrated occupational health interventions contributed to better management of occupational conditions, facilitating early intervention and strengthening preventive healthcare programs.

Although Lost Workdays presented annual fluctuations, the overall trend suggests progressive stabilization during the final years of the study period.

The coordination between occupational medicine, psychosocial support, ergonomics, and institutional leadership generated improvements in worker well-being and organizational resilience.

Frequency Index

The Frequency Index constitutes one of the most representative indicators for evaluating occupational safety performance, The institutional analysis identified a progressive stabilization of accident occurrence rates throughout the implementation period of the Heroes of Life model.

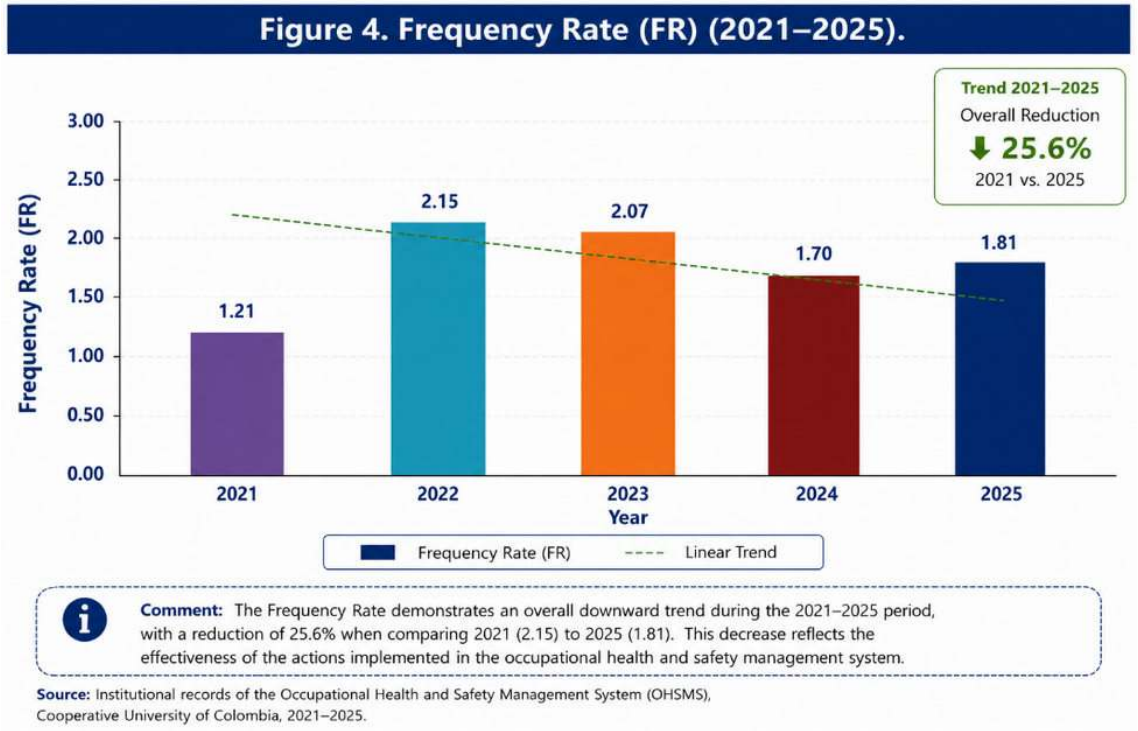


Figure 4. Frequency Rate (FR) (2021–2025).

Technical interpretation

The observed trend indicates greater control of occupational risks through preventive inspections, hazard identification, worker participation, and systematic implementation of corrective actions.

The Frequency rate decreased from 2.15 in 2022 to 1.81 in 2025, representing an approximate cumulative reduction of 15.8%; if we include the approximate cumulative reduction from 2021 to 2025, it is 25.6%.

The results suggest that prevention activities progressively shifted from reactive interventions toward proactive risk management.

Severity Rate

The Severity Rate was evaluated to determine the organizational impact of Occupational Injuries considering lost workdays.

The institutional records demonstrate the evolution of accident severity throughout the study period.

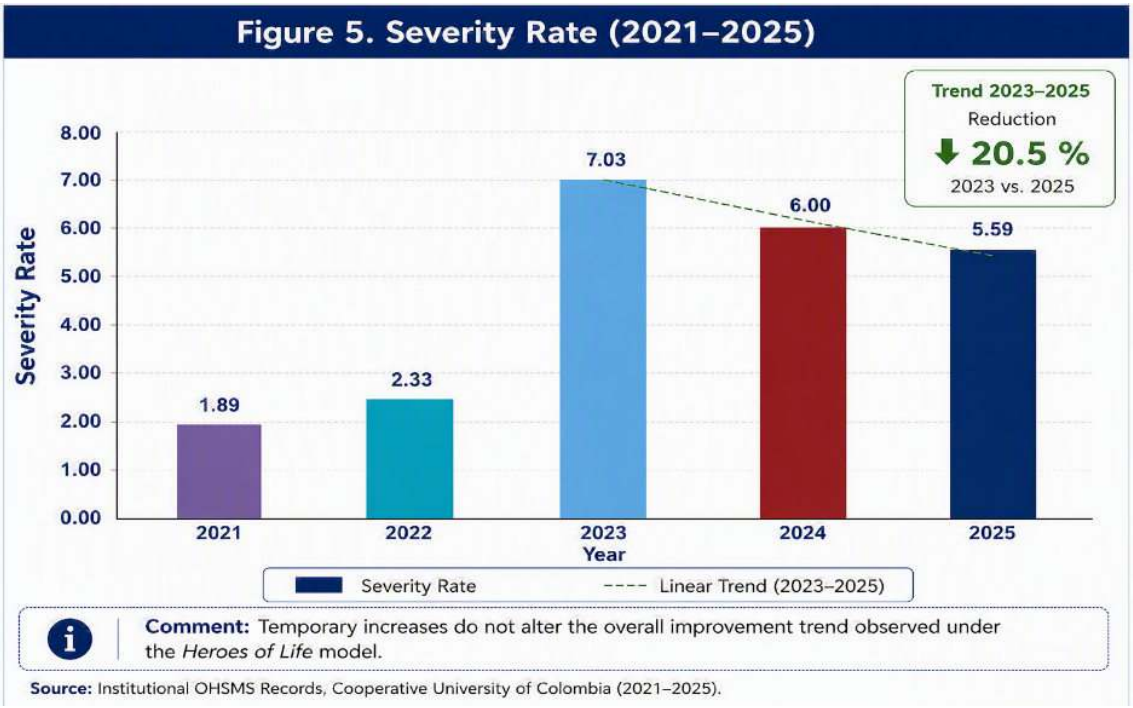


Figure 5. Severity Rate (2021–2025)

Technical interpretation

The Severity Rate showed a temporary increase in 2023 associated with events resulting in a higher number of lost workdays. However, a sustained downward trend was observed thereafter, achieving a cumulative reduction of 20.5% between 2023 and 2025.

These findings suggest progressive strengthening of hazard control measures, occupational health follow-up processes, return-to-work programs, and post-incident management practices implemented through the Occupational Health and Safety Management System.

.

Participation in Institutional Occupational Health and Safety Program

One of the distinguishing characteristics of the Heroes of Life model is its emphasis on organizational participation.

Institutional records demonstrated increasing worker involvement in: Occupational Health training, Emergency brigades, Road Safety activities, Healthy lifestyle campaigns, Psychosocial interventions, Emergency drills, Safety inspections.

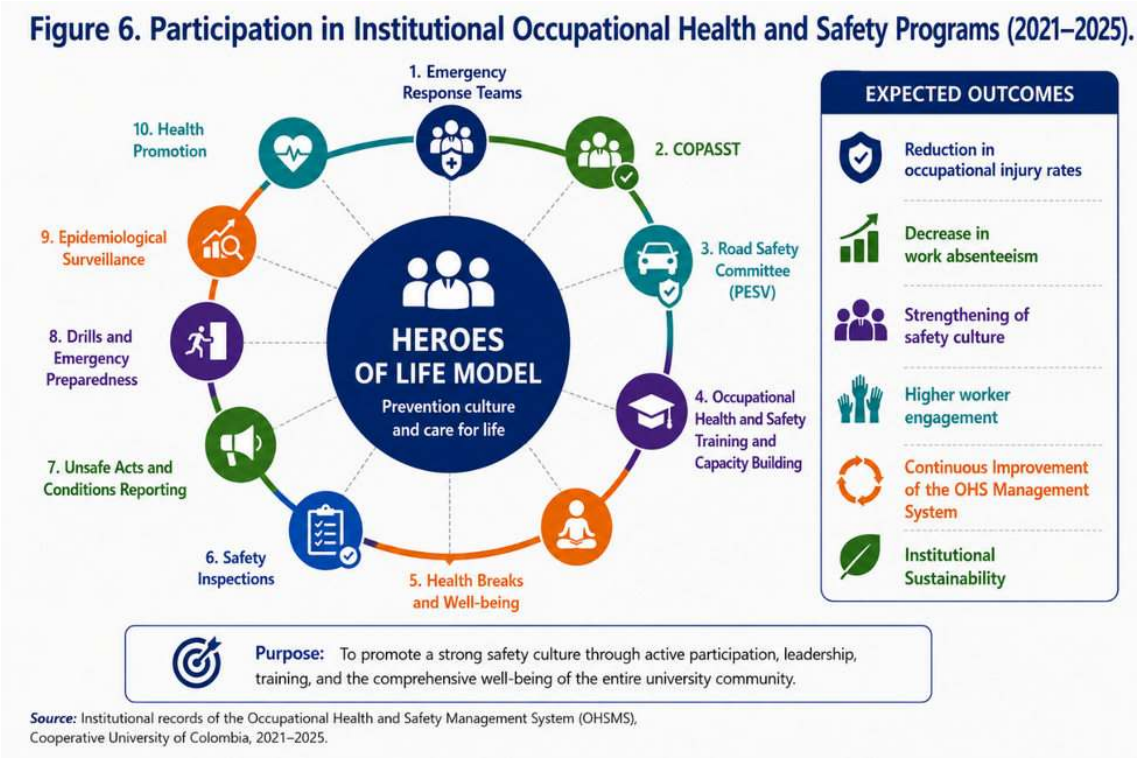


Figure 6. Participation in Institutional Occupational Health and Safety Programs.

Technical interpretation

Higher participation rates were associated with greater organizational commitment and improved preventive culture.

articipation in prevention programs increased from 72% in 2021 to 88% in 2025, representing an increase of 16 percentage points.

Leadership support and communication strategies played a decisive role in maintaining sustained participation.

Institutional Performance of the Heroes of Life Model

The comprehensive evaluation of institutional indicators demonstrates that Heroes of Life became more than an Occupational Health and Safety program; it evolved into an organizational management model integrating:

Strategic leadership.

Worker engagement.

Continuous education.

Health promotion.

Risk management.

Organizational resilience.

Continuous improvement.

This integration strengthened institutional capacity to manage occupational risks while simultaneously promoting worker well-being.

Table 1. Summary of Institutional Indicators (2021–2025)

Table 1. Summary of Institutional Indicators (2021–2025).

Indicator	Definition (Standard)	Annual Results					Unit of Measurement	Trend 2021–2025	Change 2021 vs. 2025
		2021	2022	2023	2024	2025			
Occupational Injuries (IN)	Number of occupational injuries recorded during the year (ILO, ISO 45001:2018).	159	220	227	191	165	Number of injuries	↘	-24.5%
Lost Workdays (LWD)	Total number of days of incapacity resulting from occupational injuries (ILO, OSHA).	1,054	1,674	1,936	1,942	1,913	Days	↘	-1.2%
Frequency Rate (FR)	Number of occupational injuries per 1,000,000 hours worked (OSHA, ISO 45001).	1.21	2.15	2.07	1.70	1.81	Rate per 1,000,000 hours worked	↘	-25.6%
Program Participation (PP)	Participation rate in institutional Occupational Health and Safety programs (ISO 45001:2018).	72%	78%	82%	85%	88%	Percentage (%)	↗	+16.0 pp

Source: Institutional records of the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS), Cooperative University of Colombia, 2021–2025.

Table 2. "Heroes of Life" Methodological Model Pillars

Table 2. "Heroes of Life" Methodological Model Pillars

PILLAR	PILLAR OBJECTIVE	STRATEGIC ACTIVITIES
1. Strategic Leadership and Governance	Integrate Occupational Health and Safety (OHS) into institutional leadership and decision-making processes.	• Strategic planning and policy deployment • Top management commitment • Performance monitoring and review • Resource allocation • Institutional governance
2. Worker Health and Well-being	Promote comprehensive worker health and well-being through preventive and health promotion strategies.	• Occupational health surveillance • Psychosocial risk management • Healthy lifestyle promotion • Mental health and well-being • Occupational rehabilitation
3. Continuous Education and Training	Strengthen OHS competencies through continuous education and training.	• Training programs and workshops • Virtual learning and e-learning • Emergency drills and simulations • Competency development • Knowledge transfer
4. Worker Participation and Engagement	Foster active participation and engagement of workers in OHS processes.	• COPASST and safety committees • Emergency Response Teams • Road Safety Committee • Hazard reporting and safety inspections • Recognition and engagement programs
5. Continuous Improvement	Ensure continual improvement of the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) through systematic evaluation and learning.	• Internal audits • Corrective and preventive actions • Lessons learned and innovation • Indicator monitoring and analysis • Organizational learning and improvement

Source: Institutional records of the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS), Cooperative University of Colombia, 2021–2025.

Table 3. Occupational Health and Safety Management System

Table 3. Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) Indicators

OHSMS Dimension	Indicators
1. Occupational Safety	• Occupational Injury Frequency Rate (FR) • Occupational Injury Severity Rate (SR)
2. Worker Health and Well-being	• Work Absenteeism (Lost Workdays) • Occupational Health Surveillance • Worker Health Promotion Programs
3. Regulatory Compliance	• ISO 45001 Requirements Fulfilment • Internal and External Audits • Legal Compliance
4. Competence Development	• OHS Education and Training • Competency Assessment • Emergency Preparedness and Response
5. Worker Participation and Engagement	• Worker Participation Rate • Hazard Reporting • Safety Committees (COPASST) • Emergency Response Teams
6. Risk Management	• Hazard Identification • Risk Assessment • Operational Controls • Psychosocial Risk Management
7. Continuous Improvement	• Corrective and Preventive Actions (CAPA) • Performance Monitoring • Management Review • Organizational Learning

Source: Institutional records of the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS), Cooperative University of Colombia, 2021–2025.

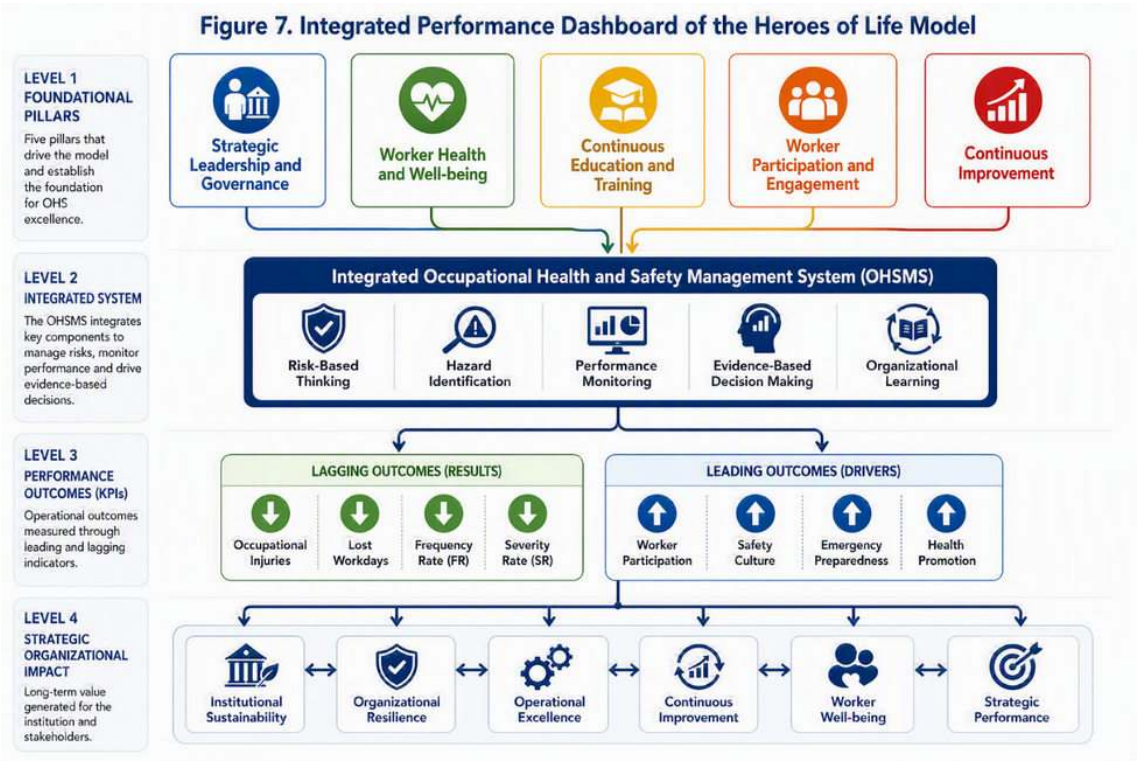


Figure 7. Integrated Heroes of Life Performance Dashboard

Integrated Outcomes of the Heroes of Life Model

he integrated evaluation of institutional outcomes suggests that the five strategic pillars of the Heroes of Life model contribute synergistically to strengthening Occupational Health and Safety Management System performance.

The interaction between leadership, worker well-being, continuous education, participation, and continuous improvement supports evidence-based management processes capable of improving both operational indicators and leading performance indicators.

The observed improvements suggest that integrated prevention management contributes simultaneously to reductions in Occupational Injuries and to the enhancement of organizational learning, worker engagement, safety culture, and institutional resilience.



Discussion

The findings of this study demonstrate that the implementation of the Heroes of Life institutional model contributed to strengthening Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) within Cooperative University of Colombia by integrating preventive actions into the strategic management of the institution. Rather than functioning as an isolated compliance initiative, the model fostered a comprehensive organizational approach in which leadership, worker participation, health promotion, continuous training, emergency preparedness, and continuous improvement became interconnected components of a unified prevention strategy.

These findings are consistent with Cooper (2000), who identified worker participation and safety culture as critical determinants of occupational health and safety performance. Similarly, Hudson (2007) demonstrated that organizations achieving higher levels of safety maturity typically exhibit stronger leadership commitment, workforce engagement, and organizational learning processes.

These findings are consistent with the principles established in ISO 45001:2018, which emphasize that Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) achieve greater effectiveness when they are integrated into organizational governance and supported by active leadership and worker participation. The progressive evolution observed in the institutional indicators suggests that prevention becomes more sustainable when it is embedded within organizational culture rather than being addressed solely through regulatory compliance.

One of the distinguishing characteristics of the Heroes of Life model is its human-centered approach. Unlike conventional Occupational Health and Safety programs that frequently concentrate on technical controls and legal obligations, Heroes of Life positions every employee as an active participant in risk prevention. This organizational philosophy promotes shared responsibility for safety and encourages behavioral changes that extend beyond the workplace into everyday life.

From a Safety-II perspective, the results should not be interpreted solely through the reduction of adverse events. Hollnagel (2014) argues that high-performing organizations develop adaptive capacities that enable successful operations under varying conditions. In this context, the Heroes of Life model promotes resilience, learning, and proactive risk management capabilities.

The longitudinal analysis covering the period 2021–2025 also highlights the importance of maintaining preventive initiatives over time. The institutional trends indicate that improvements in Occupational Health and Safety performance are not the result of isolated interventions but rather of sustained organizational commitment supported by performance monitoring, periodic management review, and evidence-based decision-making. This observation aligns with previous studies demonstrating that mature safety cultures require consistency, top management commitment, and continuous organizational learning.

Another relevant aspect identified during the implementation process is the integration of multiple institutional programs into a single management framework. The incorporation of occupational medicine, psychosocial risk management, emergency response, road safety, healthy lifestyle promotion, training, inspections, and internal communication generated organizational synergies that strengthened preventive capacity throughout the University. Such integration reduces fragmentation between institutional processes and facilitates more efficient allocation of organizational resources.

Furthermore, the multicampus nature of Cooperative University of Colombia provides an additional contribution to the literature. Implementing a standardized Occupational Health and Safety strategy across geographically dispersed campuses with heterogeneous operational characteristics represents a significant organizational challenge. The institutional experience suggests that standardized management principles combined with local operational flexibility can effectively strengthen safety performance while maintaining institutional consistency.

Similarly, the findings are also aligned with the Vision Zero principles promoted by the International Social Security Association (ISSA), which emphasize leadership, participation, and continuous improvement as critical components of sustainable accident prevention.

The results also reinforce the relevance of data-driven management. The systematic monitoring of Occupational Injuries, absenteeism, severity, frequency, training coverage, emergency preparedness, and corrective actions enabled institutional leaders to identify trends, prioritize interventions, and evaluate the effectiveness of preventive measures. This evidence-based approach supports proactive decision-making and contributes to the continuous improvement philosophy promoted by international Occupational Health and Safety standards.

Although the present study demonstrates positive organizational outcomes, several limitations should be acknowledged. First, the research was conducted within a single higher education institution, which may limit the direct generalization of the findings to other organizational contexts. Second, the analysis relied on institutional management indicators rather than experimental or controlled interventions. Finally, external factors such as organizational growth, operational changes, and post-pandemic recovery may also have influenced some institutional indicators during the study period.

Despite these limitations, the Heroes of Life model offers a practical framework that may be adapted by other universities and large organizations seeking to strengthen their Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) through integrated organizational strategies. The model illustrates how prevention can evolve from a regulatory obligation into a strategic institutional capability that supports organizational sustainability, worker well-being, and operational excellence.

Future research should expand this line of investigation by incorporating comparative analyses between higher education institutions, evaluating long-term organizational outcomes, and exploring advanced statistical models capable of quantifying the relationship between organizational culture and Occupational Health and Safety performance. Additionally, future studies may examine the impact of digital OHS transformation, predictive analytics, and artificial intelligence on preventive management within complex educational environments.

Overall, this study contributes to the growing body of evidence supporting integrated Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) as strategic organizational tools capable of improving worker protection while simultaneously strengthening institutional performance, resilience, and sustainable development.

Limitations

Study Limitations

Several limitations should be acknowledged. First, the study was conducted within a single higher education institution, which may limit the generalizability of the findings.

Second, the observational design does not allow causal relationships to be established between the implementation of the Heroes of Life model and the evolution of institutional indicators.

Finally, organizational growth, operational changes, and post-pandemic recovery factors may have influenced some of the observed outcomes during the study period.

4. Conclusiones

The quantitative results demonstrated a reduction in Occupational Injuries and a sustained increase in worker participation in preventive programs throughout the evaluation period.

The implementation of the Heroes of Life institutional model demonstrated that Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) can evolve beyond regulatory compliance to become a strategic organizational management framework that integrates leadership, worker participation, health promotion, emergency preparedness, road safety, continuous education, and continuous improvement.

The longitudinal evaluation of institutional indicators between 2021 and 2025 showed a progressive strengthening of preventive management throughout Cooperative University of Colombia. Although individual Occupational Health and Safety indicators should be interpreted within their specific organizational context, the overall institutional performance suggests that the systematic integration of preventive actions contributed to consolidating a stronger organizational safety culture.

One of the principal contributions of this research is the development of an institutional management model specifically designed for a multicampus higher education environment. The Heroes of Life model demonstrates that Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) can effectively coordinate multiple organizational processes through a

common strategic vision supported by evidence-based decision-making and active worker participation.

The study also highlights the importance of top management commitment in achieving sustainable improvements in Occupational Health and Safety performance. Institutional leadership, supported by periodic management reviews, performance monitoring of indicators, and resource allocation, proved essential for maintaining preventive initiatives over time and fostering worker engagement.

Another significant contribution of the Heroes of Life model lies in its comprehensive approach to prevention. Rather than addressing Occupational Injuries, absenteeism, emergency preparedness, psychosocial risks, and health promotion as independent programs, the model integrates these components into a unified institutional strategy. This integration facilitates organizational learning, strengthens preventive culture, and supports continuous improvement across all organizational levels.

The multicampus implementation of the model further demonstrates its adaptability within geographically distributed organizations characterized by diverse operational realities. Standardized institutional principles combined with local operational flexibility enabled the University to maintain consistent Occupational Health and Safety practices while responding to regional needs and operational differences.

From a practical perspective, the findings suggest that universities and other knowledge-based organizations may benefit from adopting comprehensive risk-based prevention strategies that integrate Occupational Health and Safety with organizational leadership, worker well-being, institutional communication, and continuous improvement systems. Such integration may contribute not only to worker protection but also to organizational resilience, institutional sustainability, and operational excellence.

Although the present study was conducted within a single institution, its methodological framework provides a replicable reference for other higher education institutions seeking to strengthen their Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) through strategic organizational approaches. Future studies should evaluate the application of similar institutional models in different organizational contexts and incorporate comparative analyses to further validate their effectiveness.

Finally, the Heroes of Life model illustrates how Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) can become a catalyst for organizational transformation by promoting a preventive culture in which every member of the institution actively contributes to protecting life, strengthening well-being, and achieving sustainable institutional development.

Practical Implications: The findings of this study have practical implications for universities, public institutions, and large organizations seeking to strengthen Occupational Health and Safety Management System (OHSMS). The Heroes of Life model demonstrates that integrating preventive management with strategic leadership, worker participation, and organizational culture can facilitate more effective implementation of Occupational Health and Safety initiatives while supporting institutional sustainability and continuous improvement.

The model may serve as a practical reference for organizations aiming to move beyond regulatory compliance toward risk-based management toward comprehensive risk-based prevention strategies capable of improving organizational resilience and worker well-being.

Original Contribution: The originality of this study lies in the development and implementation of the Heroes of Life institutional model, an integrated Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) framework specifically designed for multicampus higher education institutions.

Unlike traditional Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) focused primarily on regulatory compliance, Heroes of Life combines strategic leadership, worker participation, organizational culture, health promotion, emergency preparedness, road safety, psychosocial management, and continuous improvement into a single institutional management model.

This integrated approach represents a practical contribution to the field of Occupational Health and Safety by demonstrating how preventive management can become a strategic organizational capability supporting institutional excellence and sustainable development.

Agradecimientos

The authors express their sincere gratitude to Cooperative University of Colombia for its institutional commitment to promoting safe, healthy and sustainable workplaces across all its campuses.

Special appreciation is extended to the President (Rectora) and the Vice Presidents (Vicerrectores Nacionales) for their strategic leadership, continuous support, and commitment to integrating Occupational Health and Safety into the University's institutional development and governance.

The authors also wish to acknowledge Gloria Lucía Franco Cano, National Director of and Angela Maria Henao, former Director of Human Resources, whose leadership has been fundamental to strengthening the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System and promoting a culture of prevention throughout the institution.

Our deepest recognition is extended to every member of the University's human talent across Colombia—including administrative staff, faculty members, campus directors, regional management teams, Occupational Health and Safety professionals, emergency brigades, COPASST members, Road Safety Committee members, contractors, and all employees—whose daily commitment, active participation, and collaborative spirit have transformed the Heroes of Life initiative into a genuine institutional culture focused on protecting life, promoting well-being, and continuously improving organizational performance.

Finally, the authors acknowledge all workers who have contributed through their experience, participation, and dedication to building safer and healthier workplaces, making this research possible and reaffirming that the true strength of an Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System lies in its people.

Declarations

Funding: This research received no external financial support. The study was conducted using institutional resources available within Cooperative University of Colombia as part of the continuous improvement activities of its Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System.

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflicts of interest related to this research.

Ethical Considerations: This study was based exclusively on institutional management information consolidated for organizational monitoring and continuous improvement purposes. No personal or confidential employee information was disclosed during the research process. The study was conducted in accordance with institutional confidentiality policies and applicable Colombian regulations concerning personal data protection and Occupational Health and Safety Management System (OHSMS).

Data Availability: The institutional data supporting the findings of this study are part of the internal Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System of Cooperative University of Colombia. Access to these data is subject to institutional confidentiality policies and applicable legal provisions.

Authors' Contributions:

Guillermo Alberto Paba Daza conceived the study, designed the institutional methodological model, coordinated the research process, implementation process, analyzed the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) indicators, and drafted the manuscript.

Gloria Lucía Franco Cano contributed to the strategic development of the institutional Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System, supported the organizational implementation of the Heroes of Life model, and reviewed the manuscript from an institutional management perspective.

Bibliografía

International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001:2018 Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) — Requirements with guidance for use. ISO.

International Organization for Standardization. (2018). ISO 31000:2018 Risk management — Guidelines. ISO.

International Labour Organization. (2001). Guidelines on Occupational Safety and Health Management Systems (ILO-OSH 2001). International Labour Office.

International Labour Organization. (2022). World Employment and Social Outlook: Trends 2022. International Labour Office.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

World Health Organization. (2022). World Health Statistics 2022: Monitoring Health for the SDGs. WHO.

International Social Security Association (ISSA)

United Nations. (2015). Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations.

Government of Colombia. (2015). Decree 1072 of 2015. Single Regulatory Decree of the Labour Sector. Ministry of Labour.

Ministry of Labour of Colombia. (2019). Resolution 0312 of 2019 establishing the Minimum Standards of the Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System. Ministry of Labour.

Reason, J. (1997). Managing the Risks of Organizational Accidents. Ashgate.

Hudson, P. (2007). Implementing a safety culture in a major multinational. Safety Science, 45(6), 697–722. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2007.04.005.

Cooper, M. D. (2000). Towards a model of safety culture. Safety Science, 36(2), 111–136. https://doi.org/10.1016/S0925-7535(00)00035-7.

Hollnagel, E. (2014). Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management. Ashgate.

Dekker, S. (2014). The Field Guide to Understanding Human Error (3rd ed.). CRC Press.

Reason, J. (2008). The Human Contribution: Unsafe Acts, Accidents and Heroic Recoveries. Ashgate

International Social Security Association. (2020). Vision Zero: Seven Golden Rules for Zero Accidents and Healthy Work. ISSA.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2022). Hierarchy of Controls. Centers for Disease Control and Prevention.

Universidad Cooperativa de Colombia. (2021). Occupational Health and Safety Management System (OHSMS) System – Institutional Management Report. Internal institutional document.

Universidad Cooperativa de Colombia. (2022). Annual Occupational Health and Safety Indicators Report. Internal institutional document.

Universidad Cooperativa de Colombia. (2023). Annual Occupational Health and Safety Indicators Report. Internal institutional document.

Universidad Cooperativa de Colombia. (2024). Annual Occupational Health and Safety Indicators Report. Internal institutional document.

Universidad Cooperativa de Colombia. (2025). Annual Occupational Health and Safety Indicators Report. Internal institutional document.

Sistema Integral de Ventilación para la Reducción de Exposición a BTX en Alkhorayef Zona Franca S.A.S.

Juan Camilo Patiño Ortiz.

Alkhorayef Petroleum Colombia

Nelly Constanza Quintero Reyes

Quironprevención Colombia

Abstract

Sistema Integral de Ventilación para la Reducción de Exposición a BTX en Alkhorayef Zona Franca S.A.S.

En Alkhorayef Petroleum Colombia – Zona Franca se identificó una exposición ocupacional relevante a compuestos BTEX, especialmente benceno, en los procesos de Control de Calidad mediante Ensayos No Destructivos (END) y Pintura y Terminado de equipos de bombeo electrosumergible (BES). Las mediciones higiénicas evidenciaron niveles de riesgo alto y la dispersión indirecta de vapores hacia áreas administrativas, lo que confirmó la necesidad de una intervención técnica prioritaria para proteger la salud de trabajadores expuestos directa e indirectamente.

El proyecto evaluó, diagnosticó e implementó un sistema de extracción localizada para controlar la emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) en las áreas críticas, con énfasis en la reducción de la exposición a benceno. La solución se fundamentó en mediciones ambientales, vigilancia médica preventiva, análisis de alternativas bajo la jerarquía de controles, diseño especializado de ventilación industrial y validación técnica posterior a la instalación.

Primera evidencia: condiciones observadas en Cabina de Calidad y área de Pintura y Terminado

En el proceso de END se aplicaban tintas penetrantes a componentes de los equipos BES para verificar la ausencia de discontinuidades e imperfecciones superficiales dentro de los protocolos de Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC). La evidencia cualitativa incluyó olor fuerte, irritación respiratoria reportada en el área de Pintura y Terminado y presencia visible de material particulado en cascos, trajes Tyvek e infraestructura cercana, señales que indicaban que los controles existentes —extractores inadecuados y elementos de protección personal— no eran suficientes para controlar la exposición.

Del síntoma a la acción

La situación identificada requirió una intervención técnica, integral e inmediata. Con el acompañamiento de la Aseguradora de Riesgos Laborales (ARL SURA), se inició un proceso de medición, análisis y revisión de alternativas de control. Desde el enfoque de higiene ocupacional, se realizaron mediciones de benceno, tolueno y xileno (BTX), cuyos análisis, efectuados en laboratorios especializados fuera de Colombia, evidenciaron exposición alta a benceno en los dos procesos evaluados. Este hallazgo confirmó la existencia de un riesgo crítico, asociado tanto a la condición cancerígena del benceno como a los niveles de exposición identificados.

Definición de la estrategia de intervención ante un riesgo cancerígeno

La confirmación de exposición alta a benceno activó una revisión conjunta entre trabajadores, gerencia, el equipo de Seguridad y Salud en el Trabajo, ARL SURA, AON y el equipo médico laboral. Aunque se evaluó la sustitución de tintas penetrantes y pinturas, las alternativas disponibles no cumplían los requerimientos del sistema de gestión de calidad ni las especificaciones de diseño y ensamble aprobadas por los clientes; por ello, al no ser viable eliminar o sustituir el peligro, la estrategia se orientó hacia controles de ingeniería.

Durante este proceso, ARL SURA articuló el acompañamiento de SEHISO, firma especializada en diseño, instalación y puesta en marcha de sistemas de ventilación industrial. A partir de visitas técnicas a la planta y de la recolección de información de campo, se desarrolló la ingeniería de detalle del sistema de captación, filtrado y extracción de emisiones de compuestos orgánicos volátiles para la cabina de Calidad y la cabina de Pintura y Terminado. La propuesta fue presentada a la gerencia y, en coherencia con las políticas corporativas de HSE, se aprobaron los recursos necesarios para su fabricación e instalación en la planta de manufactura.

Posterior a la instalación, las mediciones realizadas con anemómetros evidenciaron que las cabinas operaban por encima de la velocidad de captura recomendada, lo que permitió sustentar técnicamente la mejora de las condiciones de control. Adicionalmente, el documento integra la normativa colombiana aplicable y define lineamientos preventivos para componentes críticos como ventiladores, conductos y sistemas de filtración. En conjunto, estos elementos constituyen una guía técnica para fortalecer el cumplimiento ambiental y la protección de la salud ocupacional en instalaciones industriales.

Impacto de la estrategia

La implementación del sistema de ventilación fortaleció la confianza de los colaboradores al evidenciar coherencia entre las políticas corporativas de HSE, las campañas de prevención y la asignación efectiva de recursos para proteger la salud. Además de reducir el riesgo químico, el proyecto generó un impacto positivo en el clima laboral al demostrar compromiso gerencial, respuesta técnica oportuna y mejora tangible de las condiciones de trabajo.

Benceno: sustancia química líquida, incolora o de color amarillo claro cuando está a temperatura ambiente. Se utiliza principalmente como solvente en la industria química y en la industria farmacéutica, como producto inicial e intermedio en la síntesis de numerosas sustancias químicas, y en la gasolina. El benceno se produce tanto en procesos naturales como artificiales. Es un componente natural del petróleo crudo, que es la principal fuente de benceno producido en la actualidad. (https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/benceno)

COVs (Compuestos Orgánicos Volátiles): Sustancias químicas orgánicas que tienen una presión de vapor lo suficientemente alta a temperatura ambiente normal como para evaporarse significativamente e ingresar a la atmósfera laboral en forma de gas o vapor, representando una vía potencial de exposición por inhalación. (ACGIH).

Ventilación industrial: Es el conjunto de tecnologías y principios de ingeniería utilizados para suministrar, hacer circular o extraer aire de un entorno de trabajo con el objetivo principal de controlar los contaminantes ambientales (gases, vapores, polvos, humos o neblinas), mantener el confort térmico y garantizar que las concentraciones de sustancias químicas peligrosas se mantengan por debajo de los límites de exposición permisibles (TLVs) para proteger la salud de los trabajadores. Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales. Primera edición en español. ACGIH “American Conference of Governmental Industrial Hygienists”.

Extracción localizada: (o VEL - Ventilación Extractiva Localizada) sistema de ventilación industrial diseñado para capturar, contener o recibir los contaminantes del aire (gases, vapores, polvos, humos o neblinas) en su punto de origen o muy cerca de él, antes de que tengan la oportunidad de dispersarse en la atmósfera general del lugar de trabajo y penetrar en la zona de respiración del trabajador. Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales. Primera edición en español. ACGIH "American Conference of Governmental Industrial Hygienists".

Palabras Clave

BTX (Benceno, Tolueno, Xileno).

1. Introducción

Este compendio técnico presenta el diagnóstico, diseño, implementación y validación de una intervención de ingeniería orientada a mitigar el riesgo químico por exposición a BTEX en la planta de manufactura de Alkhorayef Petroleum Colombia. En los procesos de Control de Calidad mediante Ensayos No Destructivos (END) y Pintura y Terminado, la manipulación de sustancias químicas generaba Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), dentro de los cuales destaca el benceno, agente de alta toxicidad y propiedades cancerígenas comprobadas.

A nivel global, la exposición ocupacional a agentes cancerígenos representa una de las mayores prioridades de salud pública y seguridad laboral, debido a su alta carga de morbilidad y los extensos periodos de latencia de las enfermedades oncohematológicas. Las estadísticas internacionales sobre la exposición a benceno evidencian que miles de trabajadores en diversos sectores industriales continúan expuestos a concentraciones que superan las recomendaciones de los organismos internacionales de referencia. En este sentido, la gestión y mitigación de este riesgo químico se alinea directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en especial con el ODS 3 (Salud y Bienestar) y el ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico), promoviendo entornos laborales seguros, saludables y sostenibles. Frente a este panorama, los desafíos actuales para la higiene industrial exigen trascender los métodos de control pasivos o reactivos, demandando soluciones técnicas con un alto rigor de validación de mecánica de fluidos y metrológica. Bajo esta premisa, se destaca la importancia de los controles de ingeniería dentro de la estrategia de organizaciones saludables. Estos controles actúan como barreras primarias eficaces que minimizan la dependencia de la conducta del operario, asegurando la mitigación efectiva del contaminante antes de que ingrese a la zona respiratoria del personal y consolidando entornos de trabajo competitivos y comprometidos con el bienestar integral.

La implementación y validación continua de un sistema de extracción localizada constituye una barrera crítica de ingeniería para reducir la concentración de contaminantes en el aire, prevenir patologías de origen ocupacional, mejorar la percepción del clima laboral y controlar la dispersión indirecta de emisiones hacia áreas administrativas. Esta intervención también fortalece el cumplimiento de los marcos normativos aplicables y la gestión preventiva de HSE.

Objetivo:

Evaluar, diagnosticar y establecer lineamientos de operación, mantenimiento y validación higiénica para el sistema de extracción localizado en las áreas de Control de Calidad mediante END y Pintura de Alkhorayef, con el fin de garantizar un ambiente laboral seguro y de bajo riesgo.

Objetivos específicos:

Minimizar la exposición ocupacional del personal de ensamble a niveles inferiores al Límite de Exposición Permisible (PEL), considerando el alto potencial carcinogénico del benceno.

Reducir y mantener la concentración de vapores de benceno por debajo del 25% de su Límite Inferior de Inflamabilidad (LFL/LEL) en el área de ensamble.

Asegurar una eficiencia de remoción superior al 95% de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) capturados, mediante un lecho de carbón activado, conforme al diseño técnico del sistema y a las validaciones posteriores de desempeño.

Sustentar la reclasificación del área operativa mediante evidencia de ventilación adecuada, velocidades de captura superiores a 200 FPM y control de la atmósfera por debajo del 25% del Límite Inferior de Explosividad (LEL), bajo los criterios de la NFPA 497.

La pertinencia del diseño e implementación del sistema integral de ventilación en Alkhorayef Zona Franca S.A.S. trasciende el estricto cumplimiento normativo y se fundamenta en un análisis multidimensional que prioriza la salud humana y el valor estratégico de la organización.

A continuación, se detallan los pilares que justifican la viabilidad e imperiosa necesidad de este proyecto de ingeniería:

El impacto humano de intervenir antes de que aparezca la enfermedad: La intervención en higiene industrial cobra su mayor sentido ético y social cuando se ejecuta en una fase de latencia, es decir, cuando existen concentraciones de riesgo en el ambiente laboral pero la población expuesta permanece clínicamente sana. El benceno es un carcinógeno hematológico del Grupo 1 plenamente reconocido por la IARC. Esperar a la manifestación de síntomas clínicos o alteraciones en la médula ósea representa un fracaso de los sistemas de prevención. Modificar las condiciones de trabajo mediante ingeniería antes de que ocurra la absorción biológica e irreversible suprime la cadena causal de la enfermedad profesional, evitando el sufrimiento familiar, el deterioro de la calidad de vida y las consecuencias físicas destructivas de patologías oncohematológicas severas como la Leucemia Mieloide Aguda (LMA).

La importancia de la prevención primaria: Dentro de la salud ocupacional, la prevención primaria orientada a controlar el peligro en la fuente constituye la estrategia más eficaz y robusta. Al confirmarse que la sustitución de insumos no era viable por estrictas especificaciones de aseguramiento de calidad (QA/QC), el sistema de ventilación extractiva localizada (LEV) se posiciona como la barrera de ingeniería por excelencia. La prevención primaria minimiza de manera drástica la dependencia del comportamiento del trabajador o de la efectividad variable de los Elementos de Protección Personal (EPP). Controlar la dispersión de los vapores de benceno desde su origen impide que ingresen a la zona de respiración de los operarios directos y, simultáneamente, detiene la contaminación cruzada o dispersión indirecta hacia las áreas adyacentes donde labora el personal administrativo.

El beneficio para la sostenibilidad empresarial: Las organizaciones saludables que adoptan un enfoque proactivo de control de ingeniería experimentan una mitigación drástica de sus pasivos financieros latentes. La inversión de USD 70.200 en este sistema integral de ventilación contrasta con los costos directos de alta complejidad derivados del tratamiento de las enfermedades oncológicas profesionales, los cuales pueden ascender hasta USD 842.000 por un solo caso grave. Adicionalmente, la sostenibilidad de la organización se ve directamente beneficiada al eliminar los costos indirectos asociados a indemnizaciones civiles, primas de cotización en el sistema de riesgos laborales, litigios legales, ausentismo prolongado y sanciones administrativas por parte de los entes reguladores. Asimismo, el desempeño aerodinámico del sistema mitiga riesgos de seguridad de procesos (incendios o explosiones por

acumulación de COVs inflamables), salvaguardando la continuidad operativa y la infraestructura de la zona franca.

La protección del talento humano como activo estratégico: En el sector de hidrocarburos y servicios de bombeo electrosumergible (BES), el conocimiento técnico, la destreza operativa y la experiencia en el control de calidad son competencias altamente especializadas y difíciles de sustituir. Proteger al personal técnico y operativo significa salvaguardar el núcleo productivo y el activo intangible más valioso de la compañía. La ejecución de esta solución técnica no solo redujo los niveles ambientales de benceno, sino que transformó favorablemente la percepción del clima y entorno laboral. El talento humano incrementa su compromiso, confianza y productividad al constatar la coherencia práctica entre las políticas corporativas de HSE y la asignación efectiva de recursos económicos orientados a garantizar entornos de trabajo dignos y biológicamente seguros.

2. Metodología

Diseño de la Investigación y Ámbito de Aplicación

El presente estudio de caso cuantitativo se estructuró bajo un diseño de intervención prospectiva del tipo antes/después (pre/post). El ámbito de aplicación se delimitó a la planta de manufactura y ensamble de equipos de bombeo electrosumergible (BES) de Alkhorayef Petroleum Colombia, ubicada en Bogotá, Zona Franca. La población de estudio contempló al personal operativo de las áreas críticas:

Cabina de Calidad, donde se aplican tintas penetrantes para los protocolos de Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC) de las partes utilizadas para el ensamble

Área de Pintura y Terminado; adicionalmente, el alcance perimetral incluyó la evaluación de la dispersión indirecta de vapores hacia niveles adyacentes ocupados por personal administrativo.

Selección del diseño metodológico: Este diseño cuasiexperimental de tipo pre/post fue seleccionado específicamente porque permite establecer una comparación matemática directa y robusta de las condiciones de exposición laboral antes y después de aplicar el control de ingeniería (sistema LEV), controlando las variables del proceso al mantener estables la infraestructura, el tipo de contaminante químicos (BTEX) y los turnos de trabajo de la población expuesta. Según la metodología estandarizada de la AIHA (Strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures), un enfoque cuantitativo longitudinal de este tipo es el más idóneo para validar de forma empírica y estadísticamente significativa la reducción de la dosis ambiental de un agente químico y constatar el retorno de la inversión técnica en salud ocupacional, eliminando sesgos cualitativos de observación.

Caracterización Inicial y Diagnóstico Higiénico-Epidemiológico

La fase diagnóstica partió de evidencia cualitativa trazable: Reportes de Identificación de Riesgos (RIR), reportes al Comité Paritario de Seguridad y Salud en el Trabajo (COPASST), síntomas de irritación respiratoria y presencia visible de material particulado en cascos, trajes Tyvek e infraestructura cercana. Para la recolección cuantitativa se realizaron mediciones higiénicas personales de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), focalizadas en la familia BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno).

Medición Cuantitativa

La medición fue realizada por Quironprevención Colombia, conforme a la metodología para la evaluación de la exposición a agentes químicos BTEX.

Consistió en la medición de la concentración de los agentes de interés en el aire para su posterior comparación con los Valores Límite Permisibles establecidos por la normativa vigente.

Para efectos del diagnóstico, se realizaron las mediciones de las concentraciones del agente de interés en las diferentes áreas de trabajo incluyendo cargos y puestos de trabajo de las diferentes secciones de la empresa, en las fechas programadas para ello.

Las condiciones de muestreo, las técnicas de análisis en laboratorio y los procedimientos en general fueron sugeridos por la NIOSH como organismo internacional de referencia. Sus lineamientos se establecen según el tipo de contaminante a evaluar y, en su descripción, se detallan aspectos como medios de retención, volúmenes de muestreo y técnicas de determinación o cuantificación del agente en el laboratorio.

Equipo utilizado

Los equipos de medida utilizados para la determinación de los contaminantes químicos cumplieron los requisitos establecidos en los métodos de muestreo, fueron calibrados y revisados de acuerdo con los mismos y a los procedimientos de calidad.

EQUIPO	Nº SERIE / INVENTARIO
Caudalimetro	41461228003

Técnica de muestreo

Las condiciones de muestreo, las técnicas de análisis en laboratorio y los procedimientos en general fueron sugeridos por la NIOSH como organismo internacional de referencia. Sus lineamientos se establecen según el tipo de contaminante que se vaya a evaluar y, en su descripción, se detallan aspectos como medios de retención, volúmenes de muestreo y técnicas de determinación o cuantificación del agente en el laboratorio.

BTEX:

Metodología: PLE 163 basado en la UNE 81586.2020

Técnica analítica: Cromatografía de gases

Caudal de muestreo: 200

Soporte de Captación: Filtro de carbón activado.

Estrategia de muestreo

Los cargos o puestos de trabajo muestreados fueron seleccionados por Alkhorayef; el número, la duración de las mediciones y el equipo utilizado fueron seleccionados de acuerdo con:

Información aportada por los trabajadores

La descripción de tareas y los tiempos de exposición.

El muestreo consistió en hacer pasar de forma activa (con bomba de aspiración) aire, del ambiente de trabajo, con los agentes químicos potencialmente presentes en el proceso, por filtro específico para la retención de los agentes que se quieren determinar.

De esta manera, se pudo determinar la concentración de estos agentes, una vez analizados los filtros específicos en laboratorio, y comparados con los pertinentes Valores Límites Ambientales (TLV-TWA).

Normas y reglamentos de aplicación

Las normas que se tuvieron en cuenta para la realización de las evaluaciones incluyen la Resolución 2400 de 1979, que establece las concentraciones máximas permisibles (TLV) de agentes químicos en los sitios de trabajo, de acuerdo con los valores fijados por la ACGIH o con los límites umbral del Ministerio de Trabajo.

Los valores límite TLV son concentraciones por debajo de las cuales se considera que un trabajador promedio no presentará alteraciones en su salud tras la exposición al factor de riesgo durante ocho horas al día.

La ACGIH establece los siguientes Valores Límite:

TLV-TWA: Concentración media ponderada en el tiempo, para exposiciones de 8 horas diarias y 40 horas semanales.

TLV-STEL: Concentración permisible para exposiciones de corta duración, no superiores a 15 minutos ni repetidas más de 4 veces al día, con un período mínimo de 1 hora entre exposiciones sucesivas.

TLV-C: Concentración que no se debe sobrepasar en ningún momento.

Límites de desviación: para exposiciones de corta duración, estos límites se fijan de forma que las desviaciones no superen tres veces el valor TLV-TWA durante 30 minutos en una jornada de trabajo y, en ningún caso, sobrepasen cinco veces el valor TLV-TWA. En el caso de sustancias con valor TLV-STEL, este tiene prioridad sobre los límites de desviación.

Desviaciones de las condiciones y horarios de trabajo

Los TLV's (TWA) dados por la ACGIH están establecidos para 8 horas diarias y

40 horas de trabajo a la semana, en condiciones de temperatura y presión normales (TPN, 25ºC y 760 torr).

Cuando la jornada laboral es superior a estos valores (8 horas diarias y 40 horas de trabajo a la semana), se requiere una consideración especial para corregir el valor de los TLV´s y proteger a los trabajadores en la misma medida que se hace con quienes laboran jornadas normales.

Los ajustes de TLV para turnos de trabajo mayores a 8 horas/jornada, 40 horas/semanales, se realizan aplicando el modelo Brief & Scala.

AGENTE CONTAMÍNATE	TLV – TWA (mg/m^3)	TLV – TWA (mg/m^3) Corregido, 48 h/sem.
Benceno	0,0159	0,124
Tolueno	75,37	58,9
Xileno	87,19	67,8
Etilbenceno	86,85	67,8

Igualmente debe tenerse en cuenta las variaciones de presión y temperatura sobre las condiciones normales (TPN, 25ºC y 760 torr), si bien por tratarse de aerosoles, las

concentraciones de exposición (calculadas usando volúmenes de muestreo no ajustado a las condiciones TPN) pueden compararse directamente con los límites publicados.

Variación del caudal de aspiración (y por tanto el Volumen de aire aspirado por el equipo) cuando hay gran diferencia en las condiciones de presión y temperatura entre el lugar de calibración (usualmente laboratorio) y el punto concreto de muestreo.

Según esta apreciación, los cálculos de concentración del agente deberán hacerse con los volúmenes reales de muestreo, es decir:

Volúmenes nominales cuando el equipo nos de este dato (ejemplo equipos GilAir Plus), que es capaz de regular el caudal a las nuevas condiciones de presión y temperatura.

Con el volumen corregido a las condiciones reales de muestreo, aplicando la Ley General de los Gases.

Cuando la calibración de la bomba se ha hecho “in situ”, no será necesario realizar esta corrección.

Criterios de valorización

Para una mejor interpretación de los resultados, se determina el riesgo por exposición a contaminantes químicos en un puesto laboral mediante el cálculo de su Índice de Riesgo (I.R.), utilizando la siguiente relación, para luego valorar cualitativamente el resultado de acuerdo con la categorización presentada en la tabla.

$$I\,R = \frac{\text{Concentración}}{TLV}$$

RANGO	CATEGORÍA	ACCIONES A TOMAR
Mayor de 1	Índice de riesgo Alto	Inmediatas
0.5 – 1	índice de riesgo Medio	Mediano plazo
Menor de 0.5	índice de riesgo Bajo	Continuar acciones

El I.R. es una medida de la potencial contaminación del área de trabajo y/o del porcentaje de dosis permisible (%TLV) a la cual los trabajadores se encuentran expuestos durante la toma de muestra. Permite valorar el nivel de riesgo que presenta un área o ambiente en particular. Esta concentración relativa puede sufrir variaciones a lo largo de la jornada laboral, según las circunstancias que determinen la exposición a los agentes.

Un ALTO I.R. se cuantifica por una concentración inaceptable que excede el TLV, lo cual exige la toma de medidas de control correctivas inmediatas.

Un MEDIANO I.R. indica que la concentración se encuentra entre el nivel de acción (0.5 del TLV) y el TLV, por lo que se deben contemplar métodos de control a mediano plazo como medidas preventivas.

Por su parte un RIESGO BAJO determina el mantenimiento de las medidas actuales de control, sin significar ello que las concentraciones encontradas constituyan valores inocuos.

Vigilancia Médica

La evaluación del riesgo integró un componente de vigilancia médica. En el contexto clínico, las consideraciones se alinearon con la normativa vigente de investigación y reserva de la historia clínica ocupacional. Se ejecutó un monitoreo biológico preventivo mediante la cuantificación del biomarcador ácido fenilmercaptúrico en el personal expuesto del proceso de Calidad y Terminado. El equipo médico de AON y SURA emitió un concepto en el que los resultados confirmaron la ausencia del contaminante en el organismo de los trabajadores, evidenciando que, afortunadamente, aún no existía afectación sistémica a la salud.

Análisis de Alternativas (Jerarquía de Controles)

Análisis Inicial

Ante la confirmación de exposición alta a benceno en el ambiente laboral, contrastada con una población trabajadora sana según el biomarcador, se configuró el escenario idóneo para una intervención primaria. Para ello, se conformó una mesa de trabajo y análisis técnico integrada por la Administradora de Riesgos Laborales SURA (ARL SURA), el intermediario de riesgos AON Risk Services, el equipo HSE y la gerencia corporativa. Se evaluó la viabilidad de la sustitución de las tintas penetrantes; sin embargo, las formulaciones alternativas libres de benceno fueron rechazadas, ya que no cumplían con las tolerancias de detección de discontinuidades superficiales requeridas por las especificaciones de Aseguramiento y Control de Calidad (QA/QC) aplicables al diseño y ensamble de los equipos de bombeo electrosumergible (BES).

Elección de controles: costos vs. beneficio en la prevención de enfermedades

Descartada la sustitución, la justificación epidemiológica para proceder con controles de ingeniería se fundamentó en el principio de precaución, mediante un análisis predictivo de costo-efectividad. Considerando que el benceno es un agente cancerígeno humano comprobado (Grupo 1, según la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer, IARC), fuertemente asociado al desarrollo de leucemia mieloide aguda (LMA/AML), se proyectó y realizó un análisis de la inversión de ingeniería frente a los costos en salud derivados de un diagnóstico médico desfavorable, encontrando lo siguiente:

Descripción Tratamientos	Valor Estimado por persona
Tratamiento inicial (Diagnóstico, hospitalización y quimioterapia)	USD 16.800 y USD 70.200
Esquema de alta complejidad (trasplante de progenitores hematopoyéticos y gastos médicos futuros)	USD 140.000 y USD 400.000

Costo total de un solo trabajador	USD 84.000 a USD 842.000 este último cuando el caso es complejo

A la fecha el costo total del proyecto de ventilación como control de ingeniería es de USD 70.200, teniendo un impacto positivo en una población de aproximadamente 40 personas, demostrando la importancia de prevenir cualquier exposición a sustancias químicas cancerígenas que generen enfermedades laborales.

Con esta información, la gerencia determinó que el control frente a la exposición no podía limitarse a controles administrativos y al uso de elementos de protección personal (EPP), ya que estos hacen parte de las últimas medidas de prevención dentro de la jerarquía de controles y no son totalmente efectivos. Con el fin de salvaguardar la salud del personal expuesto, tanto de manera directa como indirecta, se orientó la intervención hacia el sistema

de extracción localizada, validado como una barrera eficaz dentro de la prevención integral Persona/Empresa.

Diseño e Implementación Técnica

En colaboración con la firma especializada Servicios Especializados de Higiene Industrial y Seguridad Ocupacional SEHISO, se desarrolló la ingeniería de detalle para un sistema de extracción localizada (LEV). Las herramientas de diseño se fundamentaron en el Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice for Design de la ACGIH (numeral 6.2.2). El modelo integró campanas de captación direccional en el foco de emisión, ductería calculada para transporte de gases y un sistema depurador de adsorción de COVs mediante lechos de carbón activado, configurados paramétricamente para detener las corrientes de aire cruzadas y evitar la dispersión hacia las áreas respiratorias.

Validación y Análisis Estadístico

La validación aerodinámica se ejecutó recolectando datos en sitio de la velocidad de captura mediante el método de áreas de igual magnitud (cuadrículas) en la apertura de las cabinas. Se emplearon herramientas metrológicamente trazables: anemómetros PCE-VA 11 y DWYER E46AI.

Los datos obtenidos antes y después de la intervención se sometieron a análisis descriptivo e inferencial. Para evaluar la reducción de la concentración ambiental de benceno y el cumplimiento de la velocidad mínima de captura de 200 FPM, se aplicó la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para muestras emparejadas, con un nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$). Los resultados permitieron sustentar técnicamente la mejora del control de exposición y la reclasificación de las áreas bajo los criterios de la norma NFPA 497.

La reclasificación técnica se fundamentó en la validación del desempeño fluidodinámico del sistema de extracción localizada diseñado por SEHISO. Mediante anemómetros calibrados con trazabilidad metrológica se constató que el sistema mantiene velocidades de captura superiores a 200 FPM en las zonas de emisión, lo que permite confinar y diluir los contaminantes en la fuente, mantener la atmósfera de trabajo por debajo del 25% del Límite Inferior de Explosividad (LEL) y soportar la transición hacia un área segura o no clasificada conforme a NFPA 497.

Posibilidades de Aplicación y Replicabilidad en Otras Industrias

La metodología sistemática de este proyecto —que abarca desde un diagnóstico cuantitativo normalizado por NIOSH y OSHA hacia un modelamiento de fluidos aerodinámicos bajo las pautas de la ACGIH— cuenta con un alto potencial de transferencia y reproducibilidad en otros sectores económicos. Según los reportes internacionales de la EPA sobre el control de emisiones fugitivas, el esquema metodológico pre/post fundamentado en extracción localizada acoplada a sistemas de filtración por carbón activado es directamente aplicable en:

Industria de Refinación y Petroquímica: En laboratorios de control de calidad químicos, áreas de muestreo manual de combustibles y plantas de fraccionamiento donde las emisiones de BTEX representan riesgos crónicos repetitivos.

Industria Automotriz y Astilleros: En las líneas de pintura electrostática, aspersión y dosificación de recubrimientos poliméricos que liberan grandes volúmenes de xilenos, tolueno y otros COVs peligrosos.

Industria Farmacéutica y Cosmética: En los procesos de granulación y recubrimiento de tabletas que requieren el uso industrial de solventes orgánicos volátiles para disolver principios activos.

Mantenimiento Industrial y Aeronáutico: En talleres que ejecutan masivamente Ensayos No Destructivos (END) mediante líquidos penetrantes y reveladores en aerosol sobre componentes estructurales críticos.

3. Resultados y discusión de resultados

Caracterización Inicial y Diagnóstico Higiénico-Epidemiológico

La recolección de información cualitativa mediante los diferentes Reportes de Identificación de Riesgos (RIR) realizados por el personal en planta generó una alerta frente a la irritación respiratoria y la presencia de material particulado de tonalidad rosada en el proceso de QA/QC, y azul en el proceso de Terminado, tanto en los elementos de protección personal como en la infraestructura. Esta situación generó la alerta temprana y motivó la medición cuantitativa de estos procesos.

Las evaluaciones higiénicas de exposición ocupacional a benceno en la cabina de Calidad y en el área de Terminado revelaron concentraciones ambientales que superaban significativamente los límites normativos.

Aplicando el cálculo del Índice de Riesgo, se obtuvieron los siguientes resultados para benceno:

Área Evaluada	Agente Químico	Índice de Riesgo	Nivel de Riesgo
Área de Terminado	Benceno	7,68	ALTO (>1.0)
Área de Calidad	Benceno	1,90	ALTO (>1.0)

Después de las mediciones, se realizó el proceso de vigilancia médica utilizando el biomarcador ácido fenilmercaptúrico. Dentro del concepto médico emitido por los profesionales, se evidenciaron resultados negativos en la totalidad de los trabajadores expuestos, confirmando la ausencia de absorción sistémica previa a la intervención. Por ello, la intervención se desarrolló como un proceso de prevención primaria.

Diseño, Implementación Técnica y Validación Estadística

El sistema de extracción localizada (LEV) diseñado con base en el manual de la ACGIH demostró un desempeño fluidodinámico sobresaliente. La validación en sitio, ejecutada con anemómetros calibrados, registró velocidades de captura constantes y sin fugas en la sección de cada cabina.

Variables	Resultados		
	Cabina 1	Cabina 2	Cabina 3
Velocidad Promedio (FPM)	255	253	265
Temperatura "T" (°C)	20	20	20
Presión barométrica "PB" (mmHg)	563	563	563
Densidad del aire a condiciones estándar (kg/m3)	1,2	1,2	1,2
Densidad del aire corregida (kg/m3)	0,89	0,89	0,89
Velocidad Promedio corregida por PB y T (FPM)	296	294	308
Velocidad de diseño o velocidad recomendada (FPM)	200	200	200
	Cumple	Cumple	Cumple

De la tabla anterior se concluye lo siguiente:

Los valores promedio de las velocidades obtenidas en las cabinas de extracción, sin corregir por presión barométrica y temperatura, son mayores que los valores de diseño (200 FPM), al igual que los valores promedio de las velocidades corregidas por presión barométrica y temperatura.

Según lo anterior, en términos generales, el sistema de extracción presenta un adecuado funcionamiento, de acuerdo con los parámetros de diseño iniciales. Es decir, el sistema se diseñó para velocidades de 200 FPM y en la práctica está funcionando con velocidades mayores a este valor.

Lo anterior, garantiza que las presiones estáticas en las intersecciones están equilibradas (son iguales), por ende, no fue necesario evaluar dicha variable.

La presión dinámica en los conductos, para determinar la velocidad del aire en estos, no fue necesario medirla ni valorarla, puesto que, al cumplir con las velocidades de captura, las campanas están extrayendo el flujo o caudal de aire requerido; por ende, la velocidad en los conductos sería, como mínimo, la de diseño.

El ventilador hasta la fecha se encontraba funcionando correctamente, lo que significa que está moviendo un caudal de aire mayor al de diseño y está venciendo la presión estática de todos los componentes del sistema de extracción.

La medición se realizó con los sistemas de filtración instalados.

PROCESO ANTES	PROCESO AHORA



ORPjournal | ISSN 2385-3832







Discusión de resultados

El contraste entre un entorno con un nivel de riesgo alto de exposición a benceno y una población expuesta con biomarcadores negativos representa el hallazgo más valioso de este estudio e implementación de controles. Demuestra que el sistema de reportes cualitativos (RIR y COPASST) funcionó como una alerta temprana eficaz. Actuar en este periodo garantizó una intervención de prevención primaria, evitando que la toxicidad del benceno (carcinógeno Grupo 1, IARC) desencadenara patologías oncohematológicas severas y de alto impacto socioeconómico, como la leucemia mieloide aguda (LMA).

El análisis de alternativas validó la jerarquía de controles. Al descartarse la sustitución por exigencias contractuales de QA/QC, quedó en evidencia que depender exclusivamente del último eslabón de la jerarquía de controles, es decir, del uso de EPP y trajes Tyvek, constituía la única barrera de protección entre el riesgo y la persona.

La significancia estadística obtenida mediante la prueba realizada valida que la solución de ingeniería, basada en un sistema de extracción localizada, fue un producto con un diseño debidamente medido, analizado y sustentado en el manual de la ACGIH. Asimismo, la reclasificación de las áreas bajo la norma NFPA 497 demuestra un beneficio colateral de alto impacto operativo: el control de higiene industrial diseñado para proteger la salud de los trabajadores resolvió simultáneamente un problema crítico de seguridad de procesos y seguridad del personal, mitigando el riesgo inminente mediante la caracterización de áreas seguras.

Comparación con investigaciones internacionales similares: Los hallazgos cuantitativos de este estudio, caracterizados por índices de riesgo iniciales críticos para benceno de 7,68 en el área de terminado y 1,90 en la cabina de calidad, guardan una estrecha correlación con investigaciones desarrolladas en talleres de tratamiento de superficies y acabados industriales en la Unión Europea y Norteamérica. Estudios homólogos reportan de manera sistemática que el uso de solventes y soportes portadores de la fracción BTEX en espacios con ventilación por dilución general genera de forma invariable concentraciones ambientales que exceden los límites umbral (TLVs) de la ACGIH. El comportamiento fluidodinámico observado pre-intervención valida la premisa científica global de que los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs), debido a su presión de vapor y densidad relativa respecto al aire, tienden a acumularse de manera estratificada en las zonas de respiración si no se cuenta con un control dinámico en la fuente.

Análisis de similitudes y diferencias frente a otros estudios: Al contrastar este caso con la literatura científica, resalta una similitud metodológica fundamental: la adopción de los

lineamientos de la NIOSH para el muestreo activo con bombas de aspiración y soportes de captación de carbón activado, seguidos de cromatografía de gases. No obstante, una diferencia sustancial radica en el éxito de la intervención en la fase de prevención primaria. Mientras que gran parte de los estudios a nivel internacional analizan entornos donde ya se evidencian alteraciones biológicas o correlaciones de biomarcadores positivos en orina, esta investigación destaca porque el monitoreo biológico mediante el ácido fenilmercaptúrico arrojó resultados negativos en la totalidad de la población expuesta previa a la instalación. Esto permitió actuar oportunamente sobre la ingeniería del proceso y no sobre el daño instalado, marcando una brecha positiva frente a investigaciones que reportan intervenciones reactivas secundarias. Implicaciones para la higiene industrial moderna: Este estudio subraya tres hitos de alta relevancia para la práctica contemporánea de la higiene ocupacional. En primer lugar, revalida la vigencia y el rigor técnico del Industrial Ventilation Manual de la ACGIH como el estándar de oro para el cálculo analítico de campanas, ductos y velocidades de captura (>200 FPM) en sistemas de extracción localizada (LEV). En segundo lugar, demuestra la viabilidad de la integración de objetivos de salud con los de seguridad de procesos; la validación fluidodinámica no solo abatió el riesgo químico carcinógeno por debajo del límite permisible, sino que redujo la concentración por debajo del 25% del Límite Inferior de Explosividad (LEL), posibilitando la reclasificación técnica de áreas Clase I, División 2 a Área Segura conforme a la NFPA 497. Finalmente, introduce un enfoque de optimización económica al demostrar mediante análisis predictivo que la inversión en controles de ingeniería (USD\ 70.200) es sustancialmente inferior al costo financiero y social de la remediación oncohematológica de la leucemia mieloide aguda. Aportes del estudio para futuras investigaciones: El desarrollo de este proyecto abre nuevas líneas de investigación en el sector de manufactura y ensamble de equipos BES. Primero, aporta una metodología reproducible para el ajuste y modelación de velocidades de captura en cabinas de flujo mixto operando bajo condiciones de presión barométrica corregidas por altitud (como los 563 mmHg registrados en la planta de Bogotá). Segundo, establece un precedente empírico para evaluar la tasa de saturación y la vida útil de los lechos de adsorción de carbón activado expuestos a mezclas complejas de vapores orgánicos industriales en regímenes de operación real. Estos datos servirán como base para futuros modelos predictivos destinados al diseño de sistemas de filtración ecoeficientes en la región

Innovación y Contribución al futuro del trabajo

Alineado con El Futuro del trabajo se escribe hoy, el desarrollo de este proyecto representa un modelo que integra la innovación en SST, radicando en la aplicación integrada de higiene industrial, ingeniería y seguridad de procesos; representando así un ciclo de toma de decisiones basado inicialmente desde lo que evidenció el personal llegando hasta la parte estratégica en la escucha activa que realizó la organización mediante cada uno de los reportes recibidos. Valorar la sintomatología y la observación cualitativa de los trabajadores como alerta temprana enmarco el camino para escalar hacia el diagnóstico toxicológico cuantitativo y la evaluación preventiva de biomarcadores.

Esta información se convirtió en los datos de entrada exactos para sustentar un diseño paramétrico de ventilación basado en la ACGIH. A su vez, la validación estadística del diseño aerodinámico no solo resolvió el problema de exposición respiratoria (Higiene), sino que logró una perfecta integración entre protección de la salud y reducción del riesgo de explosividad (Seguridad de Procesos). Al garantizar la dilución mecánica de los vapores por debajo del 25% del Límite Inferior de Explosividad (LEL), una intervención que nació para proteger la vida de los trabajadores resolvió simultáneamente un peligro locativo crítico, generando la reclasificación a Área Segura bajo la norma NFPA 497.

Esta transición desde tener un solo control como el uso de los Elementos de Protección Personal (EPP) migrando hacia controles de ingeniería basados en la prevención primaria

consolida una solución replicable para otras industrias. Su aplicabilidad transversal se fundamenta en que el diseño de contención aerodinámica y adsorción por carbón activado para Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) actúa sobre las leyes físicas del agente y no se limita a un único proceso productivo. En consecuencia, este diseño y control es fácilmente transferible a la industria de refinación, líneas automotrices, o procesos de granulación farmacéutica. Escalar este modelo originado en la voz del trabajador permite avanzar hacia la generación de una cultura preventiva y un conocimiento aplicable a otros contextos, fomentando la innovación en SST y garantizando que más empresas logren consolidarse como verdaderas organizaciones saludables y orientadas a la sostenibilidad empresarial.

Impacto organizacional

Desde una perspectiva organizacional, la consecución de este sistema de extracción trascendió de la mitigación de las concentraciones ambientales para convertirse en una mejora representativa para llegar a un bienestar corporativo. El éxito de este proyecto tiene su raíz en el nivel de agudeza y observación específica del personal operativo frente a su entorno; el hecho de que los trabajadores identificarán oportunamente las alteraciones visuales en sus EPP y reportarán síntomas respiratorios a través del mecanismo de participación RIR, demuestra que están en constante alerta a los riesgos y profundamente comprometidos con ejecutar sus labores con la mayor seguridad y cuidando su salud.

Esta proactividad en la identificación y reporte evidencia una cultura preventiva en crecimiento, demostrando que en la organización la gestión de riesgos no se estanca en la parte administrativa de un reporte documental, sino que avanza dinámicamente hasta materializarse en proyectos tangibles de ingeniería. Al responder a estas alertas tempranas con una inversión de alto nivel orientada a proteger vidas y salvaguardar la salud a largo plazo, se logra mejorar exponencialmente la confianza de los trabajadores. Ellos perciben un respaldo absoluto por parte de la alta gerencia, evidenciando una coherencia efectiva al apoyar el logro de objetivos estratégicos, tal como año a año se refleja en cumplir con la meta de 0 casos de incidencia de EL.

Definitivamente, esta sinergia entre el empoderamiento del trabajador para reportar condiciones inseguras y la respuesta positiva de la alta dirección en realizar inversiones en soluciones definitivas reafirma el principio fundamental de Alkhorayef: el talento humano es el activo estratégico más importante. Es gracias a la salud, integridad y experticia del personal que se materializa el negocio y se asegura la sostenibilidad organizacional, generando además un valioso aprendizaje para futuros proyectos de expansión y mejora continua, que no solo impactan en una sola dirección, sino que de manera integral se puede llevar a mejorar un proceso atacando varias aristas.

4. Conclusiones

Eficacia del Control de Ingeniería: El sistema de extracción localizada (LEV) validó su desempeño aerodinámico al registrar velocidades promedio de captura en las cabinas 1, 2 y 3 de 255, 253 y 265 FPM respectivamente (y valores corregidos por presión y temperatura de 296, 294 y 308 FPM), superando técnicamente la velocidad mínima de diseño recomendada de 200 FPM.

Reclasificación de Áreas de Riesgo: El óptimo desempeño fluidodinámico y la tasa de ventilación mecánica continua permitieron mitigar la acumulación de vapores y mantener la atmósfera de la planta por debajo del 25% del Límite Inferior de Explosividad (LEL), logrando la transición y reclasificación técnica de las áreas operativas de Clase I, División 2 a Área Segura (No Clasificada) bajo los criterios de la norma NFPA 497.

Eficiencia en Captación y Tratamiento de COVs: Ante la imposibilidad técnica de sustituir las tintas penetrantes y pinturas debido a los requerimientos de calidad de los equipos de bombeo electrosumergible (BES), el sistema implementado garantiza el confinamiento en la fuente y asegura una eficiencia de remoción superior al 95% de los Compuestos Orgánicos Volátiles mediante un lecho depurador de carbón activado.

Viabilidad Económica y Costo-Beneficio: La inversión total del proyecto de ingeniería ascendió a USD 70,200, impactando positivamente y protegiendo a una población de 40 trabajadores. Esta cifra resulta altamente eficiente a nivel financiero y social, considerando que el costo médico directo de un tratamiento inicial y posterior trasplante para un solo caso complejo de Leucemia Mieloide Aguda (patología asociada al Benceno) puede oscilar entre USD 196,000 y USD 842,000, sin contar los costos indirectos por lucro cesante o indemnizaciones.

Resultados de Vigilancia Médica e Higiene: Las mediciones cuantitativas iniciales arrojaron niveles críticos de exposición ambiental a Benceno (agente cancerígeno del Grupo 1). No obstante, el monitoreo biológico preventivo mediante el biomarcador de Ácido fenilmercaptúrico en el personal expuesto confirmó la ausencia del contaminante en el organismo, validando la efectividad de la intervención primaria antes de que se generara una afectación sistémica o clínica en la salud de los trabajadores.

Balance en el Clima y Entorno Laboral: La implementación del sistema LEV suprimió la dispersión indirecta de contaminantes irritantes hacia el personal administrativo y áreas contiguas, transformando la percepción cualitativa del riesgo en la planta de un nivel "muy alto" a "moderado", alineando la práctica operativa con las políticas corporativas de HSE.

La ejecución del sistema de extracción localizada (LEV) superó la función puramente correctiva, consolidándose como un eje estratégico para el fortalecimiento de la cultura de seguridad, la eficiencia operativa y la sostenibilidad corporativa. A continuación, se detallan los impactos transversales de la intervención:

Impacto sobre la percepción de seguridad de los trabajadores: La implementación del sistema generó una mejora tangible en el clima laboral al alinear la práctica operativa con las políticas corporativas de HSE. Los colaboradores evidenciaron una respuesta técnica coherente y oportuna a sus preocupaciones, reduciendo la incertidumbre ante el riesgo químico.

Beneficios operacionales y continuidad del proceso productivo: La validación técnica del sistema permitió la reclasificación de las áreas operativas de Clase I, División 2 a Área Segura (No Clasificada), conforme a los criterios de la norma NFPA 497. Esta transición elimina restricciones innecesarias en los procesos de ensamble, garantizando la continuidad operativa y una gestión de riesgos de seguridad de procesos más eficiente.

Beneficios ambientales derivados de la captación de contaminantes: El sistema de filtración mediante lechos de carbón activado demostró una eficiencia de remoción superior al 95% de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) capturados. Este control en la fuente evita la dispersión de contaminantes al medio ambiente y protege a las áreas administrativas adyacentes, reduciendo el pasivo ambiental de la planta.

Indicadores de sostenibilidad: La intervención marca un precedente de prevención primaria al integrar la vigilancia médica (biomarcadores) con la ingeniería de control. Este enfoque proactivo protege el capital humano —activo más crítico de la organización— y reduce la huella toxicológica de los procesos de aseguramiento de calidad y acabado.

Análisis económico y retorno de la inversión (ROI): El análisis de costo-efectividad confirma la viabilidad financiera del proyecto. La inversión de USD 70.200 para proteger a una población de 40 trabajadores es altamente eficiente cuando se contrasta con los costos médicos directos de un caso complejo de Leucemia Mieloide Aguda, los cuales pueden oscilar entre USD 196.000 y

USD 842.000 por trabajador. Esta diferencia sustancial subraya que la prevención técnica representa un ahorro directo significativo frente a los costos humanos, legales y de lucro cesante asociados a enfermedades laborales graves.

Reflexión

La intervención realizada en Alkhorayef constituye un referente que enriquece la práctica de la higiene industrial moderna, trascendiendo del enfoque correctivo tradicional, basado en la mayoría de los casos en controles netamente administrativos y uso de EPP, pasando a implementar un modelo de prevención primaria contundente y efectivo. Al demostrar que es técnica y económicamente viable integrar la ingeniería aerodinámica con la vigilancia médica, este estudio muestra su inmenso potencial de ser replicable en otros sectores industriales de alta complejidad, como el petroquímico, automotriz y farmacéutico. En conclusión, la materialización eficaz de este sistema de ventilación reafirma que los controles de ingeniería en la fuente son el instrumento más robusto para la construcción de entornos laborales intrínsecamente seguros, saludables y sostenibles, encaminados a la preservación de la vida y el talento humano como los pilares fundamentales en el futuro del trabajo.

Agradecimientos

A nuestros técnicos de planta y campo, quienes dan sentido a nuestro rol de prevencionistas y por quienes desarrollamos este tipo de iniciativas, para que el ambiente de trabajo sea lo más saludable posible y aportemos a su calidad de vida.

Bibliografía

ACGIH (1998). Ventilación industrial: Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos profesionales (1ª ed. en español). American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

ACGIH (2017). Industrial ventilation: A manual of recommended practice for operation and maintenance (2nd ed.). American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

ACGIH (2019). Industrial ventilation: A manual of recommended practice for design (30th ed.). American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

ACGIH (2022). Threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

AIHA (2012). Fundamentals governing the design and operation of local exhaust ventilation systems (ANSI/AIHA Z9.2-2012). American Industrial Hygiene Association.

American Cancer Society (2022). Benzene and cancer risk.

Asociación Colombiana de Hematología y Oncología (ACHO) (2024). Leucemia Mieloide Aguda: esquemas de tratamiento y protocolos terapéuticos.

Asociación Prevención de Accidentes (2022). Informe de ensayo: Determinación de vapores orgánicos en tubo (Informe n° 22L-14623/1). Laboratorio de Las Rozas.

Burgess, W. A., Ellenbecker, M. J., & Treitman, R. D. (2004). Ventilation for control of the work environment (2nd ed.). John Wiley & Sons. ISBN 0-471-09532-X.

Burton, D. J. (1991). Laboratory ventilation workbook (2ª ed.). ISBN: 0-883992-02-8.

CIBSE (2016). Ventilation and ductwork (CIBSE Guide B2: 2016). Chartered Institution of Building Services Engineers. ISBN 978-1-906846-76-3.

Carcinecer Royo, E. (1996). Ventilación industrial. Ediciones Paraninfo. ISBN: 84-283-1891-3.

Congreso de Colombia (1979). Ley 9 de 1979: Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.

de Wang, L. K., Pereira, N. C., & Hung, Y.-T. (2004). Air pollution control engineering (Handbook of environmental engineering, vol. 1). Humana Press. ISBN 1-59259-778-5.

de Wang, L. K., & Pereira, N. C. (2005). Air and noise pollution control (Handbook of environmental engineering, vol. 1). Humana Press. ISBN-13: 978-1-4612-6238-1.

Fundación MAPFRE (1996). Manual de higiene industrial (4ª ed.). Editorial MAPFRE.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (2018). Benzene. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 120. Lyon, Francia.

International Agency for Research on Cancer (IARC) (2019). Summary of data reported: Benzene.

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social de Colombia (1979). Resolución 2400 de 1979: Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.

National Fire Protection Association (NFPA) (2021). Recommended practice for the classification of flammable liquids, gases, or vapors and of hazardous (classified) locations for electrical installations in chemical process areas (NFPA 497). NFPA.

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) (2024). Benzene: Workplace Safety and Health Topics.

NIOSH (1994). Manual of analytical methods (4ª ed.). U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health.

Noffsinger, T. L. (2000). Air pollution control engineering (2nd ed.). McGraw-Hill. ISBN 0-07-116207-0.

Pimienta, L. M., Zambrano, M. A., Amaya, S. L. R., Puello, I. M. L., Gil, I. M. S., Rivas, S. M., et al. (2023). Análisis de costo efectividad del tratamiento de primera línea para leucemia promielocítica aguda en Colombia. Revista Colombiana de Hematología y Oncología, 9(Supl.), 25-26.

Quironprevención (2022). Informe de químicos - BTEX: Alkhorayef Petroleum Colombia (Réf. H1059WB2022-BTEX). ARL Sura.

SEHISO S.A.S. (2025). Diseño de sistema de extracción localizado para ensayos de control - Área de pintura (Plano A011, Fase 3.1). Seguros de Riesgos Laborales Suramericana (SURA).

SEHISO S.A.S. (2025). Diseño de sistema de extracción localizado para ensayos de control - Control de calidad mediante END (Plano A009, Fase 3.0). Seguros de Riesgos Laborales Suramericana (SURA).

SEHISO S.A.S. (2026). Documento técnico: Sistema de extracción de aire en el área de control de calidad mediante END (líquidos penetrantes). Alkhorayef Petroleum Colombia.

ASHRAE (2007). Ventilación para una calidad aceptable de aire interior (Estándar ANSI/ASHRAE 62.1-2007). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2002). Manual de costos de control de contaminación del aire (6ª ed., Pub. No. EPA 452/B-02-002). Office of Air Quality Planning and Standards.

Caracterización ergonómica de las condiciones de trabajo de los cultores de la modalidad de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos de San Juan de Pasto, Colombia

Ergonomic Characterization of the Working Conditions of Float Builders Participating in the Black and White Carnival in San Juan de Pasto, Colombia

Héctor Fabián Prado Chicaiza, Universidad de Nariño

María Cristina Arteaga Benavides, Centro de Estudios en salud Universidad de Nariño

Ana Milena Ortiz Casanova, Corporación Universitaria Minuto de Dios

Abstract

Introducción: La elaboración de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos constituye una actividad artesanal de alto valor cultural que exige la ejecución de tareas manuales complejas bajo condiciones de trabajo poco estudiadas desde la ergonomía. La limitada evidencia disponible sobre los riesgos ocupacionales en este tipo de actividades dificulta el diseño de estrategias preventivas adaptadas a las necesidades de los artesanos.

Objetivo: Evaluar las condiciones ergonómicas presentes en las diferentes etapas del proceso de elaboración y exposición de las carrozas del Carnaval de Negros y Blancos mediante la aplicación del método LEST.

Métodos: Se realizó un estudio observacional de corte transversal en artesanos dedicados a la construcción de carrozas en la ciudad de Pasto, Colombia. La evaluación comprendió las etapas de maquetación, modelado, empapelado, montaje, pintura y puesta en escena. Las condiciones de trabajo fueron analizadas mediante el método LEST, considerando las dimensiones de carga física, entorno físico, carga mental, aspectos psicosociales y tiempo de trabajo. Los resultados se analizaron mediante estadística descriptiva.

Resultados: La carga física fue el componente de mayor afectación durante el proceso productivo, especialmente en las etapas de modelado, empapelado y montaje. El entorno físico presentó condiciones desfavorables asociadas principalmente a la exposición al ruido, mientras que la carga mental mostró niveles moderados relacionados con la atención sostenida y la precisión requerida para las tareas. Los aspectos psicosociales fueron, en general, favorables debido a la autonomía y al trabajo colaborativo entre los artesanos. El montaje representó la fase con mayor riesgo ergonómico por la combinación de posturas forzadas, manipulación manual de cargas, trabajo en altura y jornadas prolongadas.

Conclusiones: La elaboración de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos presenta condiciones ergonómicas que incrementan el riesgo de fatiga y de trastornos musculoesqueléticos, principalmente durante las etapas finales del proceso productivo. Los resultados evidencian la necesidad de implementar intervenciones ergonómicas orientadas a mejorar las condiciones físicas del trabajo, adecuar herramientas y fortalecer las estrategias de prevención en este sector artesanal.

Abstract en inglés

Background: The construction of floats for the Black and White Carnival is a culturally significant artisanal activity involving complex manual tasks performed under working conditions that have received limited ergonomic attention. The lack of scientific evidence on occupational risks in this sector hinders the development of effective preventive strategies.

Objective: To assess the ergonomic conditions of the different stages involved in the construction and exhibition of carnival floats using the LEST method.

Methods: A cross-sectional observational study was conducted among artisans involved in float construction in Pasto, Colombia. The evaluation included the stages of scale modeling, sculpting, paper layering, assembly, painting and public exhibition. Working conditions were assessed using the LEST method, considering physical workload, physical environment, mental workload, psychosocial factors and working time. Descriptive statistics were used for data analysis.

Results: Physical workload showed the highest level of ergonomic demand, particularly during sculpting, paper layering and assembly. The physical environment was mainly affected by occupational noise, whereas mental workload was associated with sustained attention and task precision. Psychosocial conditions were generally favorable due to workers' autonomy and collaborative work organization. Assembly represented the most critical stage because of the combination of awkward postures, manual material handling, work at height and extended working hours.

Conclusions: Float construction for the Black and White Carnival involves ergonomic conditions that increase the risk of fatigue and musculoskeletal disorders, particularly during the final production stages. These findings support the implementation of ergonomic interventions aimed at improving working conditions and preventing occupational disorders among artisans.

Palabras Clave

ergonomía; método LEST; riesgo ergonómico; artesanos; Carnaval de Negros y Blancos; trastornos musculoesqueléticos. ergonomics; LEST method; ergonomic risk; artisans; Black and White Carnival; musculoskeletal disorders.

1. Introducción

La ergonomía constituye una disciplina fundamental para la prevención de los trastornos musculo esqueléticos relacionados con el trabajo y para el diseño de sistemas laborales seguros, eficientes y adaptados a las capacidades de las personas (Dul & Weerdmeester, 2008). La evidencia científica demuestra que la exposición prolongada a posturas forzadas, movimientos repetitivos, manipulación manual de cargas, esfuerzos físicos elevados y condiciones ambientales desfavorables incrementa el riesgo de fatiga, disminución del desempeño y desarrollo de enfermedades ocupacionales (International Ergonomics Association, 2021; World Health Organization, 2022). Estos factores continúan representando uno de los principales desafíos para la seguridad y salud en el trabajo, especialmente en actividades con predominio de procesos manuales. La mejora de las condiciones de trabajo constituye un elemento esencial para la prevención de enfermedades ocupacionales y la promoción del trabajo decente (International Labour Organization [ILO], 2024).

Dentro de este contexto, el trabajo artesanal constituye un escenario de especial interés para la ergonomía. A diferencia de los procesos industriales, las actividades artesanales se caracterizan por una elevada variabilidad de las tareas, el uso intensivo de habilidades

manuales, la limitada mecanización de los procesos y una fuerte dependencia de la experiencia del trabajador. Estas condiciones favorecen la exposición continua a factores de riesgo biomecánicos cuya magnitud suele permanecer poco documentada, particularmente en actividades desarrolladas dentro de la economía informal o en sectores vinculados al patrimonio cultural. Revisiones recientes muestran que los trabajadores artesanales presentan una elevada prevalencia de trastornos musculo esqueléticos, principalmente en cuello, espalda, hombros y miembros superiores, asociados con posturas inadecuadas, movimientos repetitivos, largas jornadas laborales y herramientas poco adaptadas a las características antropométricas de los usuarios. Estos resultados coinciden con la revisión sistemática de Dipayan Das, Kumar y Sharma (2020), quienes identificaron prevalencias de trastornos musculo esqueléticos entre el 38,5 % y el 100 % en trabajadores artesanales, asociadas principalmente con posturas inadecuadas, movimientos repetitivos y jornadas prolongadas. Así mismo, las intervenciones ergonómicas participativas han demostrado reducir los factores de riesgo sin afectar el valor cultural de los oficios tradicionales.

El Carnaval de Negros y Blancos de Pasto, reconocido por la UNESCO como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad (UNESCO, 2009), constituye una de las manifestaciones culturales más representativas de Colombia. La construcción de las carrozas monumentales exige la participación de equipos de artesanos que desarrollan, durante varios meses, actividades como maquetación, modelado, empapelado, pintura, montaje y puesta en escena. Cada una de estas etapas demanda precisión manual, creatividad, manipulación de materiales de diferentes dimensiones y jornadas intensivas de trabajo, especialmente durante las fases finales previas al desfile.

Aunque numerosos estudios han documentado el valor histórico, artístico y sociocultural del Carnaval de Negros y Blancos, la evidencia sobre las condiciones ergonómicas en las que se desarrolla este trabajo artesanal continúa siendo limitada. La mayoría de las investigaciones se han orientado hacia la dimensión cultural, turística o patrimonial del carnaval, mientras que las exigencias físicas, cognitivas y organizacionales asociadas a la elaboración de las carrozas han recibido escasa atención científica. Esta ausencia de información dificulta la formulación de estrategias preventivas específicas dirigidas a preservar simultáneamente la salud de los artesanos y la sostenibilidad de este patrimonio cultural.

En este contexto, la evaluación ergonómica mediante métodos observacionales constituye una herramienta útil para identificar los factores de riesgo presentes durante las diferentes etapas del proceso productivo y establecer prioridades de intervención. El método LEST permite valorar de manera integrada la carga física, el entorno físico, la carga mental, los aspectos psicosociales y el tiempo de trabajo, proporcionando una visión global de las condiciones laborales y facilitando la formulación de acciones preventivas.

El objetivo de este estudio fue evaluar las condiciones ergonómicas presentes en las diferentes etapas del proceso de elaboración de las carrozas del Carnaval de Negros y Blancos mediante la aplicación del método LEST, con el propósito de identificar los principales factores de riesgo ergonómico y generar evidencia que contribuya al diseño de estrategias de prevención dirigidas al trabajo artesanal asociado al patrimonio cultural.

2. Metodología

Diseño del estudio

Se realizó un estudio de caso con enfoque metodológico mixto, de alcance descriptivo y corte transversal. El componente cuantitativo se orientó a la evaluación de las condiciones ergonómicas mediante la aplicación del método LEST, mientras que el componente cualitativo permitió comprender las características del proceso artesanal, la organización del trabajo y las particularidades de las actividades desarrolladas durante la elaboración de las carrozas. La integración de ambos enfoques proporcionó una visión más amplia de las condiciones de trabajo y de los factores que influyen en la exposición al riesgo ergonómico.

Contexto del estudio

La investigación se desarrolló en un taller artesanal dedicado a la elaboración de carrozas que participan en el Carnaval de Negros y Blancos de San Juan de Pasto, Colombia. El proceso productivo comprende actividades de diseño, maquetación, modelado, empapelado, pintura, montaje y preparación para el desfile, realizadas de manera secuencial durante varios meses.

Participantes

Participaron seis artesanos, todos de sexo masculino, con edades comprendidas entre 20 y 55 años y una experiencia superior a 10 años en la elaboración de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos.

Una característica particular del taller es que todos los artesanos participan en todas las etapas del proceso productivo, de acuerdo con las necesidades de producción y la planificación del maestro carrocero. Esta organización del trabajo permitió evaluar las condiciones ergonómicas a lo largo de todo el proceso de elaboración y no únicamente en un puesto de trabajo específico.

Técnicas e instrumentos de recolección de información

Se utilizaron diferentes técnicas de recolección de información:

observación directa de las actividades;

registro fotográfico de las posturas y tareas;

caracterización del proceso de trabajo;

aplicación del método LEST para la evaluación ergonómica.

El componente cualitativo permitió documentar la secuencia de actividades, la organización del trabajo y las condiciones en las que se desarrollan las diferentes etapas del proceso artesanal.

Evaluación ergonómica

La evaluación de las condiciones de trabajo se realizó mediante el método LEST (Laboratoire d'Économie et Sociologie du Travail), seleccionado por su capacidad para realizar una valoración global del puesto de trabajo. Guelaud et al. (1977)

El método evalúa cinco dimensiones: Entorno físico, carga física, carga mental, aspectos psicosociales, tiempo de trabajo.

Cada dimensión fue valorada de acuerdo con los criterios establecidos por la metodología, permitiendo identificar las condiciones satisfactorias, las situaciones que requieren mejora y aquellas que demandan intervención prioritaria.

Análisis de la información

La información cuantitativa obtenida mediante el método LEST fue organizada en una base de datos y analizada mediante estadística descriptiva, utilizando frecuencias, porcentajes y medidas de tendencia central para caracterizar el comportamiento de las variables evaluadas.

La información cualitativa procedente de la observación directa y de la caracterización del proceso de trabajo fue analizada mediante un proceso de organización temática, permitiendo complementar e interpretar los resultados obtenidos durante la evaluación ergonómica.

La integración de ambos componentes se realizó durante la interpretación de los resultados, contrastando la información cuantitativa con las observaciones registradas durante el trabajo de campo.

Consideraciones éticas

La participación de los artesanos fue voluntaria y se garantizó la confidencialidad de la información recopilada. La investigación respetó los principios éticos para estudios con seres humanos establecidos en la legislación colombiana y en la Declaración de Helsinki.

3. Resultados y discusión de resultados

Características de la población estudiada

Los seis participantes fueron hombres con edades comprendidas entre 20 y 55 años y una experiencia superior a diez años en la elaboración de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos. Todos desarrollaban actividades manuales y participaban en la totalidad de las etapas del proceso productivo, lo que permitió evaluar las condiciones ergonómicas a lo largo de todo el ciclo de elaboración.

Tabla 1.

Participantes

Variable	Resultado
Número de artesanos	6
Sexo masculino	100 %
Edad	20–55 años
Experiencia	>10 años
Participación en procesos	Todos los procesos

Nota: Características generales de los participantes

Caracterización del proceso de trabajo

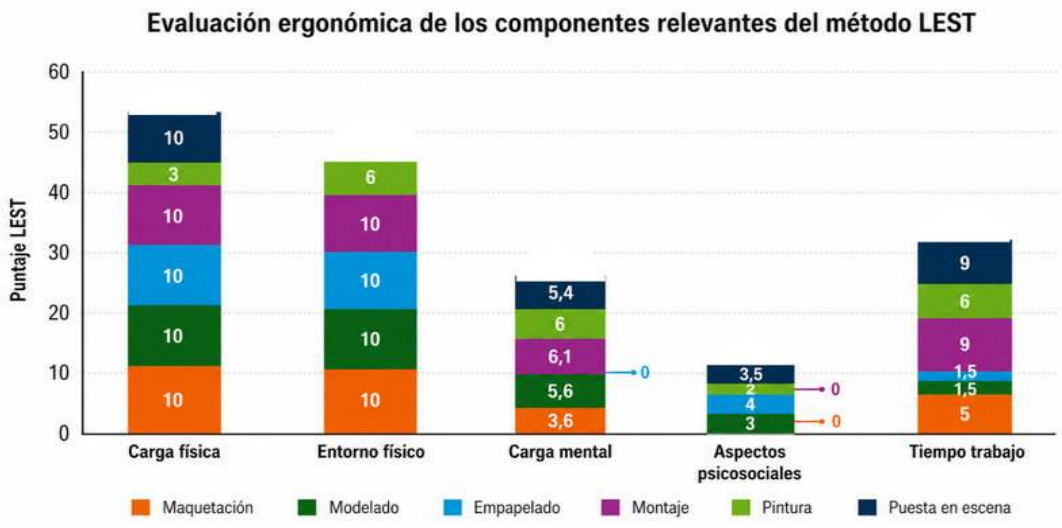
Para la evaluación, se tuvo en cuenta las fases que conlleva la construcción artesanal de la carroza, en las que se detalla cada uno de los procesos.

Figura 1 Fases de elaboración



Nota: La figura representa el proceso de elaboración de la carroza

Figura 2 Evaluación ergonómica componentes relevantes del método LEST



Nota: La figura representa los hallazgos relevantes del Método LEST en cada fase

Tabla 2.

Perfil ergonómico por etapa

Etapa Nivel de riesgo
Maquetación Bajo

Etapa Nivel de riesgo
Modelado Alto
Empapelado Alto
Pintura Medio
Montaje Muy alto

Nota: Resultado de la aplicación del Método ergonómico

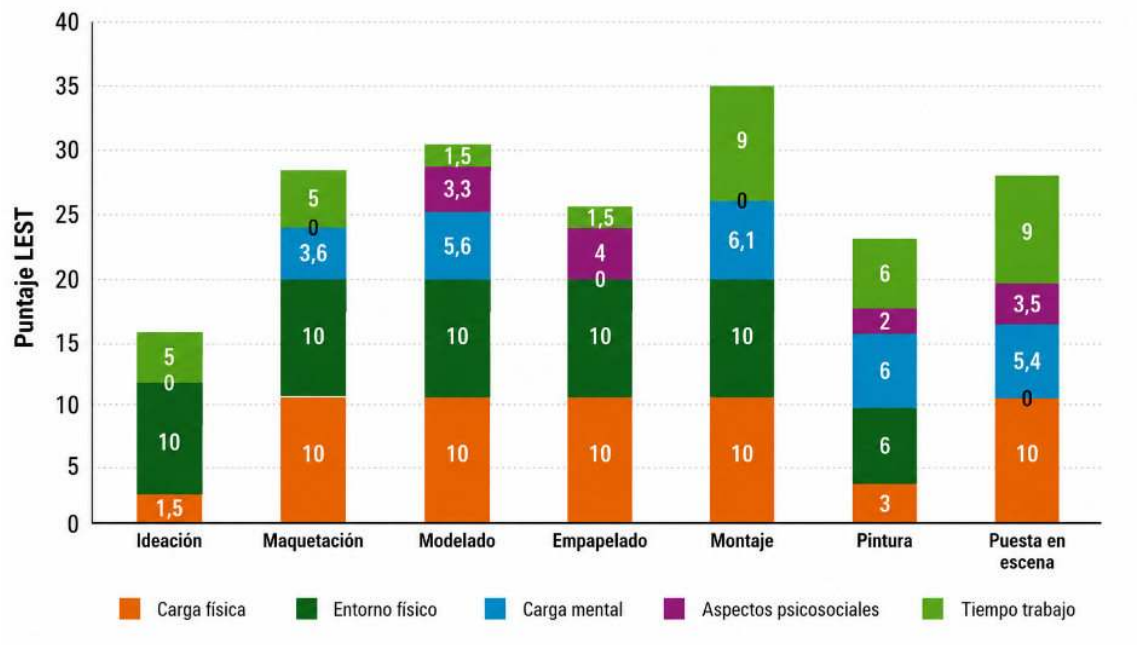
Tabla 3.

Factores de riesgo

Factores de riesgo predominantes
Posturas forzadas
Flexión sostenida del tronco
Trabajo sobre plataformas
Manipulación manual de materiales
Movimientos repetitivos
Jornadas prolongadas
Trabajo contra el tiempo previo al desfile

Nota: Hallazgos encontrados posterior a la aplicación del Método

Figura 3 Evaluación LEST global



Nota: La figura representa los hallazgos globales del Método LEST en cada fase

Caracterización del proceso de trabajo

El proceso de elaboración de las carrozas comprendió las etapas de diseño, maquetación, modelado, empapelado, pintura, montaje y puesta en escena. La observación directa permitió establecer que estas actividades se desarrollan de forma secuencial, aunque con una alta interacción entre los artesanos, quienes participan de manera colaborativa en todas las fases del proceso.

Las actividades demandaron la manipulación continua de materiales de diferentes dimensiones y pesos, el uso de herramientas manuales y eléctricas, la adopción de posturas variadas y jornadas de trabajo que aumentan progresivamente conforme se aproxima la fecha del desfile.

Evaluación ergonómica mediante el método LEST

La evaluación realizada mediante el método LEST permitió identificar diferencias en las exigencias ergonómicas entre las distintas dimensiones analizadas.

La carga física presentó las puntuaciones más desfavorables del estudio, especialmente durante las etapas de modelado, empapelado y montaje. Estas actividades requirieron la adopción frecuente de posturas forzadas, movimientos repetitivos de miembros superiores, permanencia prolongada en bipedestación y manipulación manual de materiales.

En la dimensión correspondiente al entorno físico se identificaron condiciones relacionadas con la exposición al ruido generado por herramientas eléctricas y equipos utilizados durante la fabricación de las carrozas. Asimismo, se observaron variaciones en las condiciones de iluminación y espacio de trabajo según la etapa evaluada.

La carga mental presentó niveles moderados, asociados principalmente con la necesidad de mantener elevados niveles de atención, precisión manual y coordinación durante la ejecución de actividades de carácter artístico.

Los aspectos psicosociales mostraron condiciones favorables derivadas del trabajo colaborativo, la autonomía en la ejecución de las tareas y la experiencia acumulada por los artesanos. No obstante, durante las etapas finales del proceso se evidenció un incremento en la presión temporal debido al cumplimiento de los plazos establecidos para la participación en el desfile.

Perfil ergonómico del proceso de elaboración

El análisis integral permitió identificar que las etapas de modelado, empapelado y montaje concentraron las mayores exigencias ergonómicas del proceso productivo. Estas fases combinaron elevadas demandas físicas con tiempos prolongados de trabajo y una mayor exposición a factores de riesgo biomecánico.

Por el contrario, las etapas iniciales de diseño y maquetación presentaron menores exigencias físicas, aunque implicaron mayores demandas cognitivas relacionadas con la planificación, el diseño artístico y la toma de decisiones durante el desarrollo del proyecto.

Discusión

Los hallazgos de este estudio coinciden con investigaciones recientes desarrolladas en diferentes contextos artesanales, las cuales evidencian que las actividades manuales tradicionales exponen a los trabajadores a una combinación de factores de riesgo biomecánicos, organizacionales y ambientales. La revisión de alcance realizada por Mancilla-Aliste et al. (2026) concluye que las intervenciones ergonómicas en personas artesanas deben trascender la adaptación aislada del puesto de trabajo e incorporar estrategias participativas que consideren las características del oficio, las herramientas utilizadas, la organización de las tareas y el contexto sociocultural. En este sentido, la elaboración de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos comparte con otros oficios artesanales la necesidad de preservar los conocimientos tradicionales sin descuidar la protección de la salud y el bienestar de quienes los desarrollan.

Este estudio presenta una caracterización ergonómica del proceso de elaboración de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos mediante la aplicación del método LEST, aportando evidencia sobre un contexto laboral artesanal escasamente documentado en la literatura científica. Este hallazgo confirma la necesidad de ampliar la investigación ergonómica en ocupaciones artesanales, un campo que continúa mostrando una limitada producción científica en comparación con sectores industriales tradicionales. Aunque el valor cultural, artístico y patrimonial del Carnaval ha sido ampliamente reconocido, las condiciones ergonómicas en las que desarrollan su actividad los artesanos han recibido poca atención desde la investigación en seguridad y salud en el trabajo. En este sentido, el presente estudio contribuye a ampliar el conocimiento sobre los factores de riesgo asociados a un oficio tradicional que combina creatividad, destreza manual y elevadas exigencias físicas.

Los resultados evidenciaron que la carga física constituye la principal demanda ergonómica durante el proceso de elaboración de las carrozas, especialmente en las etapas de modelado, empapelado y montaje. Las exigencias físicas identificadas durante el modelado y el montaje reflejan la importancia de adaptar las tareas a las capacidades humanas, principio central de la ergonomía ocupacional (Grandjean & Kroemer, 2009). Estas actividades implican la adopción frecuente de posturas forzadas, la manipulación manual de materiales, movimientos repetitivos y periodos prolongados de trabajo en bipedestación, condiciones ampliamente reconocidas como factores de riesgo para el desarrollo de trastornos musculo esqueléticos. La revisión sistemática de Das et al. (2020) identificó que el cuello, la espalda, las rodillas y los miembros superiores constituyen las regiones anatómicas más afectadas en trabajadores artesanales, siendo las posturas forzadas, los movimientos repetitivos y las largas jornadas laborales los factores de riesgo más frecuentes.

Las mayores exigencias observadas durante las etapas de modelado, empapelado y montaje también coinciden con investigaciones desarrolladas en otros oficios artesanales, donde la limitada mecanización de los procesos obliga a mantener elevados niveles de esfuerzo físico y precisión manual. Estudios recientes señalan que los trabajadores dedicados a actividades tradicionales, como la elaboración de textiles, cerámica, talla en madera y batik, presentan perfiles de riesgo similares, caracterizados por posturas mantenidas, movimientos repetitivos y manipulación constante de herramientas y materiales. Aunque la naturaleza de los productos elaborados es diferente, la organización del trabajo y las demandas biomecánicas muestran patrones comparables a los observados en la construcción de las carrozas del Carnaval.

Desde el punto de vista organizacional, el estudio evidenció condiciones psicosociales generalmente favorables, asociadas con la experiencia de los artesanos, el trabajo colaborativo y la autonomía durante la ejecución de las actividades. Este resultado contrasta con la elevada carga física identificada y pone de manifiesto que unas condiciones organizacionales positivas no eliminan la exposición a riesgos biomecánicos. Sin embargo, durante las etapas finales del proceso se observó un incremento de la presión temporal debido a la proximidad del desfile,

situación que puede favorecer el aumento de la fatiga y disminuir los periodos de recuperación.

La evaluación mediante el método LEST permitió realizar una valoración integral de las condiciones de trabajo, considerando simultáneamente dimensiones físicas, ambientales, mentales, psicosociales y organizacionales. Esta aproximación resulta especialmente pertinente en actividades artesanales, donde los trabajadores no permanecen en un único puesto de trabajo, sino que participan de manera dinámica en todas las etapas del proceso productivo. En el taller evaluado, los seis artesanos desarrollaban indistintamente actividades de diseño, modelado, empapelado, pintura y montaje, condición que dificulta la aplicación de métodos centrados exclusivamente en un puesto de trabajo y refuerza la utilidad de herramientas de evaluación global como el método LEST.

Un aspecto relevante del estudio es que demuestra la posibilidad de integrar la ergonomía en actividades asociadas al patrimonio cultural sin afectar la esencia del proceso artesanal. La evidencia reciente sobre intervenciones ergonómicas en oficios tradicionales indica que acciones como el rediseño de herramientas, la adecuación de las superficies de trabajo, la organización de pausas, la mejora de la distribución espacial y la capacitación en principios ergonómicos permiten disminuir la exposición a factores de riesgo sin modificar las técnicas tradicionales de producción. En este contexto, las recomendaciones derivadas de este estudio pueden contribuir tanto a la protección de la salud de los artesanos como a la sostenibilidad de los conocimientos y prácticas que sustentan el Carnaval de Negros y Blancos como patrimonio cultural inmaterial.

Entre las fortalezas de la investigación se destaca la evaluación integral de un proceso artesanal poco estudiado, desarrollada mediante observación directa y la aplicación de un método ergonómico ampliamente reconocido. Asimismo, el enfoque mixto permitió complementar la evaluación cuantitativa con la comprensión cualitativa de la organización del trabajo y de las particularidades del proceso artesanal, proporcionando una visión más completa de las condiciones laborales.

Como limitación, el estudio se desarrolló en un único taller artesanal y con la participación de seis artesanos, por lo que los resultados corresponden a un estudio de caso y no pretenden representar la totalidad de los talleres que participan en el Carnaval de Negros y Blancos. No obstante, esta investigación constituye una línea base para futuras evaluaciones comparativas que incluyan un mayor número de talleres, diferentes formas de organización del trabajo y métodos complementarios de evaluación ergonómica y biomecánica.

Finalmente, los resultados obtenidos resaltan la necesidad de incorporar la ergonomía como un componente estratégico en los programas de conservación del patrimonio cultural. La preservación de manifestaciones culturales como el Carnaval de Negros y Blancos no depende únicamente de la transmisión de conocimientos y técnicas artesanales, sino también de la protección de la salud y del bienestar de quienes hacen posible su continuidad. Desde esta perspectiva, la integración de criterios ergonómicos en los procesos de trabajo representa una oportunidad para fortalecer simultáneamente la seguridad y salud en el trabajo, la sostenibilidad de los oficios tradicionales y la conservación del patrimonio cultural.

4. Conclusiones

La evaluación ergonómica permitió identificar que el proceso de elaboración de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos presenta exigencias físicas importantes, concentradas principalmente en las etapas de modelado, empapelado y montaje, donde predominan las posturas forzadas, la manipulación manual de materiales y las jornadas prolongadas de trabajo.

El método LEST permitió caracterizar de manera integral las condiciones ergonómicas del proceso artesanal, identificando la interacción entre factores físicos, ambientales, mentales y organizacionales que influyen en la carga de trabajo de los artesanos.

Los resultados aportan evidencia sobre un contexto laboral escasamente estudiado y resaltan la necesidad de desarrollar programas de intervención ergonómica compatibles con la preservación del patrimonio cultural y con las particularidades del trabajo artesanal.

Como línea futura de investigación, se recomienda ampliar la evaluación a un mayor número de talleres y comparar las condiciones ergonómicas entre diferentes modalidades de elaboración de carrozas, incorporando además métodos complementarios de evaluación biomecánica y estudios de seguimiento que permitan valorar el efecto de las intervenciones ergonómicas sobre la salud de los artesanos.

Como aporte metodológico, este estudio evidenció que el método LEST constituye una herramienta útil para realizar una caracterización global de las condiciones ergonómicas del trabajo artesanal, al integrar dimensiones relacionadas con la carga física, el entorno físico, la carga mental, los aspectos psicosociales y el tiempo de trabajo. No obstante, su alcance se orienta principalmente a la identificación y valoración de factores de riesgo, por lo que resulta insuficiente para comprender la complejidad de sistemas de trabajo donde interactúan de manera dinámica las personas, las tareas, las herramientas, la organización y el entorno Wilson, J. R. (2014).

En consecuencia, futuras investigaciones deberían complementar este tipo de evaluaciones con modelos de análisis ergonómico de enfoque sistémico e interdisciplinario. Si bien el método LEST proporciona una caracterización global de las condiciones de trabajo, al igual que otros métodos observacionales, no permite abarcar por sí solo la complejidad de todas las dimensiones del sistema de trabajo. Como señala Kee (2022), la selección del método de evaluación debe responder al propósito del análisis y a las características de la actividad evaluada. En procesos artesanales complejos, como la elaboración de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos, resulta pertinente integrar enfoques que permitan comprender las interacciones entre las personas, las tareas, las herramientas, los materiales, el entorno físico y la organización del trabajo. Esta aproximación favorecería el diseño de intervenciones orientadas no solo a reducir los factores de riesgo ergonómico, sino también a mejorar de manera integral las condiciones de trabajo, el bienestar de los artesanos, la eficiencia del proceso productivo y la sostenibilidad de los oficios asociados al patrimonio cultural.

Como proyección de esta investigación, se considera necesario complementar las evaluaciones globales de las condiciones de trabajo con modelos de análisis ergonómico de enfoque sistémico e interdisciplinario. Wilson (2014) plantea que la ergonomía debe orientarse al estudio de las interacciones entre las personas y los diferentes componentes de los sistemas de trabajo, mientras que Hendrick y Kleiner (2002) destacan que las intervenciones más efectivas son aquellas que integran los factores humanos, tecnológicos, organizacionales y ambientales. Bajo esta perspectiva, el método LEST constituye una herramienta útil para la caracterización inicial de las condiciones de trabajo; sin embargo, procesos artesanales complejos como la elaboración de carrozas requieren enfoques que permitan comprender el sistema de trabajo en su conjunto y orientar intervenciones dirigidas a mejorar simultáneamente el bienestar de los trabajadores, la eficiencia del proceso productivo y la sostenibilidad del patrimonio cultural.

Finalmente, este estudio permite concluir que la elaboración de carrozas del Carnaval de Negros y Blancos constituye un sistema de trabajo artesanal complejo, caracterizado por la interacción permanente entre los cultores, las tareas, las herramientas, los materiales, el entorno físico y la organización del proceso productivo. En este contexto, el método LEST demostró ser una herramienta útil para la caracterización global de las condiciones de trabajo; sin embargo, al igual que otros métodos observacionales, su alcance se orienta principalmente

a la identificación de factores de riesgo y no permite comprender de manera integral las interacciones que configuran el sistema de trabajo. En consecuencia, se plantea la necesidad de avanzar hacia modelos de análisis ergonómico con enfoque sistémico y proyectual, desarrollados desde una perspectiva interdisciplinaria, que integren simultáneamente las dimensiones humanas, técnicas, organizacionales y socioculturales del trabajo. Este enfoque permitiría orientar intervenciones más integrales, dirigidas no solo a la prevención de los riesgos ergonómicos y la mejora de las condiciones de trabajo, sino también a fortalecer la sostenibilidad de los oficios tradicionales y la preservación del patrimonio cultural inmaterial.

Bibliografía

Araújo, L., Villarouco, V., & Albuquerque, S. (2020). Análise ergonômica do processo de produção artesanal: Uma revisão sistemática da literatura. Brazilian Journal of Development, 6(2), 9071–9089. https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-279

Das, D., Kumar, A., & Sharma, M. (2020). A systematic review of work-related musculoskeletal disorders among handicraft workers. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 26(1), 55–70. https://doi.org/10.1080/10803548.2018.1458487

Das, D., & Singh, A. K. (2025). Interactions between work-related factors, perceived fatigue and musculoskeletal disorders among handicraft artisans: Structural equation model analysis. Ergonomics, 68(1), 95–111. https://doi.org/10.1080/00140139.2023.2300952

Dul, J., Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., Wilson, J. R., & van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: Developing the discipline and profession. International Ergonomics Association.

Dul, J., & Weerdmeester, B. (2008). Ergonomics for beginners: A quick reference guide (3rd ed.). CRC Press.

Grandjean, E., & Kroemer, K. H. E. (2009). Fitting the task to the human: A textbook of occupational ergonomics (6th ed.). CRC Press.

Guelaud, F., Beauchesne, M. N., Gautrat, J., & Roustang, G. (1977). Pour une analyse des conditions du travail ouvrier dans l'entreprise. Laboratoire d'Économie et de Sociologie du Travail (LEST), CNRS.

Hendrick, H. W., & Kleiner, B. M. (Eds.). (2002). Macroergonomics: Theory, methods, and applications. Lawrence Erlbaum Associates.

International Ergonomics Association. (2021). Definition and domains of ergonomics. https://iea.cc

International Labour Organization. (2024). Safety and health at work. https://www.ilo.org

Kee, D. (2022). Systematic comparison of OWAS, RULA, and REBA based on a literature review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(1), Article 595. https://doi.org/10.3390/ijerph19010595

Mancilla-Aliste, J., Robles-Reyes, D., & Castro-Navarro, L. (2026). Intervenciones ergonómicas orientadas a la disminución de trastornos musculoesqueléticos y factores de riesgo biomecánicos en personas artesanas: Una revisión de alcance. Archivos de Prevención de Riesgos Laborales, 29(2), 133–150. https://doi.org/10.12961/aprl.2026.29.2.651

Pierre Falzon (Ed.). (2018). Constructive Ergonomics. CRC Press.

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2009). Inscription of the Black and White Carnival of Pasto on the Representative List of the Intangible Cultural Heritage of Humanity.

Wilson, J. R. (2014). Fundamentals of systems ergonomics/human factors. Applied Ergonomics, 45(1), 5–13. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2013.03.021

World Health Organization. (2022). Musculoskeletal health.

De la Reacción a la Anticipación: Integración de Precursores SIF y Gestión de Controles Críticos en Concesiones de Infraestructura de Alta Complejidad

Iván Puentes[a]

[a]Odinsa Gestor Profesional S.A.S.

* Correspondencia del autor: ipuentes@odinsa.com

Abstract

La gestión de riesgos en infraestructuras a gran escala exige superar la visión tradicional de seguridad basada en indicadores reactivos. En el marco de la alianza estratégica Odinsa-Macquarie para la gestión de concesiones viales y aeroportuarias en América Latina, se identificó la necesidad de contener la exposición a eventos de alto potencial. El desafío consistió en diseñar e implementar un Plan de Contención focalizado exclusivamente en tareas con potencial de generar Lesiones Graves y Fatales (SIF, por sus siglas en inglés), migrando de un enfoque retrospectivo hacia una cultura de disciplina operativa y aseguramiento preventivo de barreras, involucrando tanto a trabajadores directos como a una extensa red de contratistas. Se desarrolló un enfoque sistémico de contención basado en la identificación de precursores SIF. La metodología se estructuró en tres fases: Mapeo de 12 tareas críticas con potencial SIF utilizando los fundamentos de la Rueda de la Energía; Desarrollo de Estándares de Prevención de Fatalidades (FPS) y diseño de listas de chequeo de Mínimos Operacionales de Riesgos Críticos (MORC), alineados con la Guía de Buenas Prácticas del ICMM; y Capacitación de más de 100 líderes operacionales. Durante los primeros 6 meses de implementación, se logró un aumento promedio del 18% en el indicador de cumplimiento de MORC por parte de contratistas, alcanzando un 100% en el nivel de implementación del proceso de estándares que salvan vidas (FPS) en las operaciones. Como resultado, la organización experimentó una reducción del 54% en el Índice de Frecuencia (LTIFR) global (53% en concesiones viales y 47% en aeroportuarias), manteniendo un registro de cero accidentes fatales en los últimos dos años. La integración de la metodología de precursores SIF con el marco de aseguramiento del ICMM transformó el modelo de gestión del riesgo operacional de la compañía.

Palabras Clave

Precursores SIF, Mínimos Operacionales (MORC), Desempeño Humano y Organizacional (HOP), Índice de Frecuencia (LTIFR), Gestión de Contratistas, Rueda de la Energía.

1. Introducción

El desarrollo y mantenimiento de infraestructuras a gran escala presenta desafíos intrínsecos de alta complejidad en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), derivados de la simultaneidad de operaciones críticas y la alta densidad de empresas contratistas. Odinsa, empresa de concesiones de Grupo Argos y en alianza estratégica con Macquarie Asset Management (MAM), gestiona una robusta red de infraestructura en Colombia y Ecuador que incluye plataformas aeroportuarias (50.842.338 de tráfico anual de pasajeros) y viales (672 km de infraestructura y 41.021.813 de tráfico vehicular). Esta operación involucra a cerca de 7.843 empleados entre personal directo y contratistas.

A pesar de contar con sistemas de gestión consolidados, para el primer trimestre de 2024 la organización enfrentó un reto crítico: el indicador LTIFR (Índice de Frecuencia de Accidentes con Tiempo Perdido) a 12 meses móviles reportó un valor 3,53 veces superior al consolidado del portafolio (PortCo) de MAM Americas Real Assets. Los diagnósticos internos revelaron una gestión de contratistas fragmentada y una debilidad estructural en el aseguramiento de los riesgos críticos en terreno. Para abordar este escenario, se hizo imperativo trascender los enfoques tradicionales y fundamentar la estrategia en un marco teórico contemporáneo de alto rigor científico, articulado en tres pilares: la metodología SIF, la Rueda de la Energía y la Gestión de Controles Críticos.

Marco Teórico: De la mitigación general a los precursores pSIF

Históricamente, la gestión de la seguridad industrial se ha basado en el postulado piramidal de Heinrich, asumiendo que la reducción de incidentes menores conduce inherentemente a la disminución de eventos fatales. Sin embargo, la investigación contemporánea, liderada por Thomas Krause, demuestra que este paradigma es estadísticamente inválido para la prevención de fatalidades (Krause & Bell, 2015). Los estudios demuestran que los factores causales de los incidentes de baja severidad difieren drásticamente de aquellos que generan Lesiones Graves y Fatales (SIF, por sus siglas en inglés). En consecuencia, la prevención efectiva exige aislar el ruido estadístico de la baja severidad (que representa aproximadamente el 75% de los eventos) y enfocar los recursos analíticos y de campo exclusivamente en el 25% de los precursores con potencial SIF (pSIF), independientemente de si el evento resultó en una lesión real o fue un cuasiaccidente.

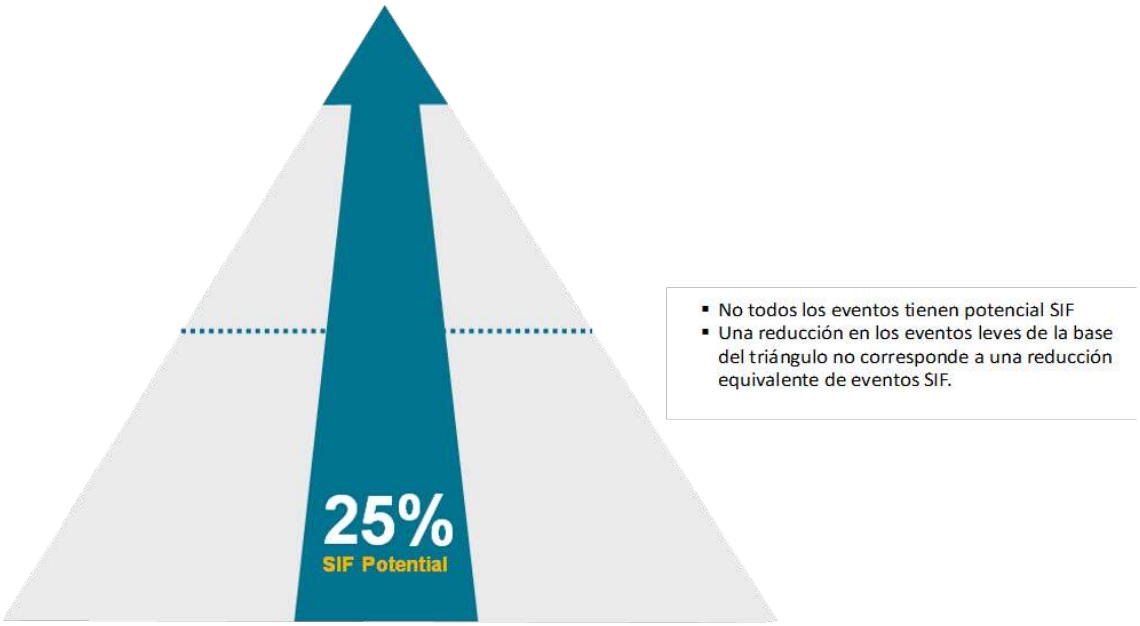


Figura 1. El Tradicional triángulo de la seguridad es descriptivo, pero no es predictivo dada la falta de correlación entre eventos leves y eventos SIF. Adaptado de: Krause & Bell, 2015.

Marco Teórico: La Rueda de la Energía para la identificación del peligro

Para estandarizar la identificación de estos eventos pSIF de manera objetiva, el modelo integra el marco conceptual de la "Rueda de la Energía". Este enfoque postula que "la energía causa daño", desviando la atención de las condiciones inseguras genéricas hacia el reconocimiento técnico de las fuentes de energía presentes en el entorno (gravedad, mecánica, eléctrica, química, entre otras). Desde esta perspectiva teórica, un evento adquiere potencial SIF cuando existe exposición a energías altas, definidas científicamente como aquellas superiores a 700 Julios o 500 ft-lbs. Al superar este umbral de transferencia de energía, el cuerpo humano pierde la capacidad de resistir el impacto sin sufrir daños irreversibles (Hallowell, 2021).

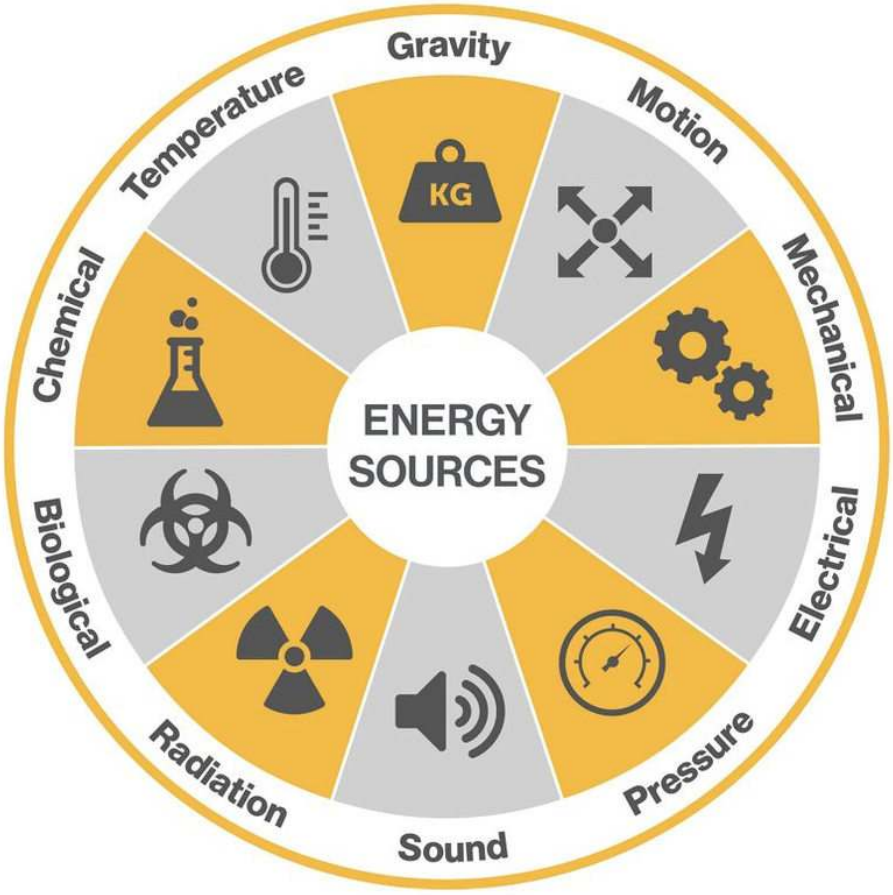


Figura 2. La Rueda de la Energía. Cada uno de los 10 íconos en la rueda de la energía representan un tipo diferente de energía. Fuente: Hallowell, 2021.

Marco Teórico: Gestión de Controles Críticos (ICMM) Finalmente, la existencia de tareas de alta energía exige el establecimiento de barreras de protección infalibles. Para materializar esto, se adoptó la Guía de Buenas Prácticas para la Gestión de Controles Críticos del Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM, 2015). Esta metodología sostiene que no todos los controles tienen el mismo peso preventivo. El marco del ICMM exige identificar de manera rigurosa aquellas barreras vitales —denominadas en Odinsa como Mínimos Operacionales de Riesgos Críticos (MORC)— cuya ausencia, falla o degradación conduciría inminentemente a un desenlace fatal, focalizando la supervisión operativa en garantizar su presencia efectiva antes y durante la ejecución de la tarea.

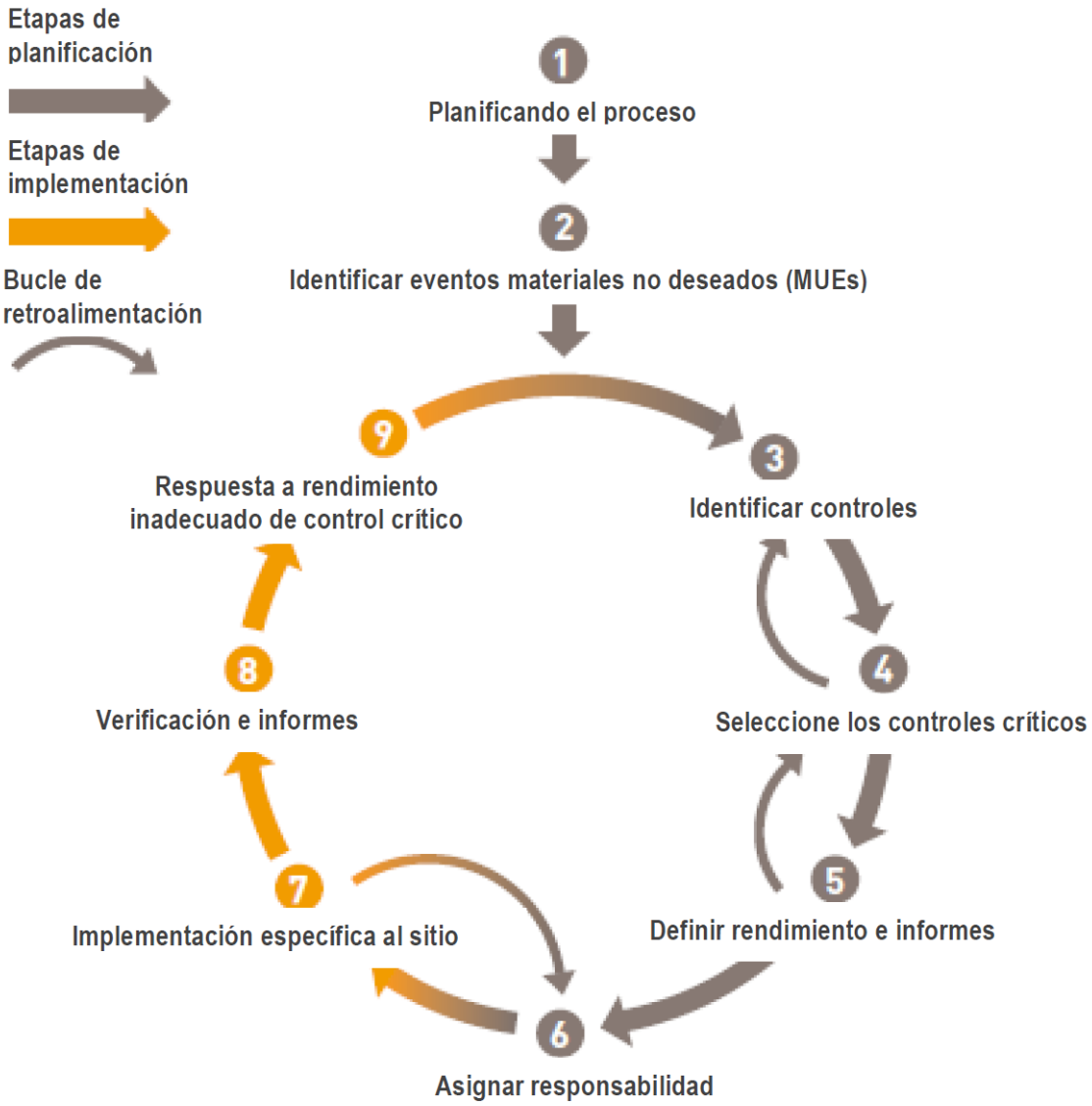


Figura 3. El proceso de gestión de controles críticos. Fuente: ICMM, 2015.

En respuesta a las brechas operativas identificadas, y soportado en esta integración teórica (Krause, Hallowell e ICMM), el presente trabajo expone el diseño e implementación del modelo de prevención de Odinsa. El objetivo de este artículo es demostrar cómo la transición de una filosofía tradicional de mitigación de accidentes hacia una cultura corporativa de "Risk First" (El Riesgo es Primero) —centrada en el control predictivo de tareas pSIF y el aseguramiento de listas MORC— logró transformar radicalmente la disciplina operativa y los indicadores de desempeño organizacional en operaciones de alta complejidad de infraestructura.

2. Metodología

El diseño de la intervención se sustentó en un enfoque mixto y sistémico, desplegado en un horizonte temporal intensivo (octubre 2024 - marzo 2025). La metodología se dividió en tres ejes de acción técnica y adaptativa:

Gestión de la Energía y Precursores SIF (Enfoque Técnico en Campo)

Se aplicaron los fundamentos de la "Rueda de la Energía" para transformar la forma en que el personal identifica los peligros. Bajo la premisa de que "la energía causa daño" y el enfoque en energías altas (superiores a 700 Julios o 500 ft-lbs), la evaluación priorizó la categorización pSIF. A través de este análisis, se identificaron 12 tareas de alto riesgo con potencial de generar fatalidades o lesiones graves, incluyendo trabajos en altura, operaciones de izaje, colisión o volcamiento de vehículos, operación con maquinaria amarilla, contacto eléctrico, espacios confinados, energías peligrosas, excavaciones, uso de explosivos, poda de árboles, atropellamientos en trabajos en la vía y trabajos en caliente.

Estandarización bajo el marco del ICMM

Con las tareas de alto potencial claramente mapeadas, se procedió a desarrollar los Estándares de Prevención de Fatalidades (FPS). Para asegurar la implementación efectiva de barreras, se adoptó la Guía de Buenas Prácticas del Consejo Internacional de Minería y Metales (ICMM), diseñando las listas de chequeo de Mínimos Operacionales de Riesgos Críticos (MORC). Este enfoque exigió priorizar controles de mayor jerarquía (eliminación, sustitución y controles de ingeniería) por encima de las medidas administrativas y equipos de protección personal (EPP).

Soporte al Liderazgo y Transformación del Desempeño Humano (HOP)

Comprendiendo que las personas son el motor del desempeño preventivo, se estructuró un plan de soporte al liderazgo en alianza con dss+ mediante el programa dnA. Se ejecutaron las siguientes acciones:

Se capacitó a más de 100 líderes operacionales, empoderándolos para aplicar de manera irrestricta la política Stop Work frente a cualquier desviación en el nivel de control.

Se implementaron rutinas de liderazgo enfocadas: chequeos preoperacionales diarios en terreno, observaciones de comportamiento semanales por parte de gerentes y directores, y caminatas de seguridad.

Se estableció un estricto modelo de gobernanza con reuniones mensuales enfocadas en la gestión de contratistas críticos y el aseguramiento en campo.

3. Resultados y discusión de resultados

Indicadores Líderes y Desempeño Operacional Preventivo

El enfoque en métricas predictivas demostró ser el catalizador de la disciplina operativa. Los resultados evidencian:

Un avance promedio del 100% en el nivel de implementación del proceso de estándares que salvan vidas (FPS) y la adopción de las listas MORC en las operaciones.

Un aumento promedio del 18% en el indicador de cumplimiento de MORC al cierre de la etapa inicial de contención. Este incremento representa una alineación directa de las empresas contratistas en la verificación exhaustiva de los controles previos a la ejecución de tareas críticas.

El establecimiento de una presencia sostenida del liderazgo en campo (caminatas de seguridad y diálogos de oportunidades), que fortaleció las capacidades de supervisión de los equipos de concesión.

Reducción de la Siniestralidad (Indicadores de Resultado)

La correlación entre el cumplimiento estricto de los controles críticos (MORC) y la reducción en los incidentes se materializó rápidamente en los indicadores corporativos:

En los primeros seis meses del plan de contención, la plataforma consolidada experimentó una disminución del 54% en el LTIFR global de directos y contratistas, desglosado en una reducción del 53% para el sector vial y 47% para el aeroportuario.

Con la maduración del plan hacia 2026, el LTIFR acumulado evidenció una reducción del 91% en la plataforma consolidada frente a la línea base de 2023.

El desempeño de Odinsa logró revertir su tendencia negativa frente a la industria: mientras en 2024 el índice superaba al benchmark en 3,53 veces, para 2025 (proyección base del estudio) el LTIFR móvil a 12 meses logró ubicarse en 0,33 veces por debajo del consolidado de la plataforma PortCo de MAM Americas.

De manera transversal y como logro principal de la filosofía SIF, se mantuvo un registro de cero accidentes fatales durante los últimos dos años.

Discusión: Los datos sugieren contundentemente que los incidentes de alta severidad no son producto del azar, sino del fracaso en la implementación o sostenibilidad de los controles críticos frente a energías peligrosas. Al desplazar el foco directivo y de contratistas desde la simple mitigación reactiva de la pirámide de accidentalidad clásica hacia el marco de Rendimiento Humano y Organizacional centrado en "El Riesgo es Primero", se generó un entorno donde el aseguramiento de los controles es no negociable. El aumento del 18% en el cumplimiento de los MORC funcionó como el indicador líder que precedió lógicamente la dramática caída del 91% en el índice LTIFR.

4. Conclusiones

La integración metodológica de precursores SIF con el marco de controles críticos del ICMM ha demostrado ser un abordaje altamente eficaz para transformar el modelo de gestión del riesgo en mega-infraestructuras. Al dejar de gestionar la accidentalidad como un concepto abstracto y focalizar el liderazgo corporativo y contratista en el cumplimiento predictivo de los Mínimos Operacionales (MORC), la organización logró establecer un nivel de resiliencia operativa de clase mundial. Los hallazgos de este caso confirman que la protección efectiva de la vida, manifestada en el logro de cero fatalidades en los últimos dos años, no reside en la mera reacción ante las lesiones leves, sino en la anticipación y el aseguramiento inquebrantable de las barreras críticas. Futuras líneas de acción deberán enfocarse en la sostenibilidad de esta disciplina operativa a largo plazo, consolidando la interdependencia cultural de toda la cadena de valor contratista.

Agradecimientos

El autor desea expresar su más profundo reconocimiento a los equipos de consultores de primer nivel de las firmas dss+ y Gestión de Riesgos Profesionales (GRP Ltda.). Su acompañamiento riguroso, visión estratégica y orientación técnica especializada fueron fundamentales para el diseño, despliegue operativo y afianzamiento metodológico del modelo de gestión de precursores SIF abordado en este trabajo.

De igual manera, extendemos un especial agradecimiento a la Administradora de Riesgos Laborales (ARL) Sura. Su respaldo institucional y compromiso continuo han sido invaluables para Odinsa y sus Concesiones durante la ejecución de nuestra hoja de ruta integral hacia la transformación de la cultura en Seguridad y Salud en el Trabajo. Su apoyo decidido durante

esta primera etapa de contención de accidentalidad ha sido un pilar clave para materializar la visión de Risk First y garantizar entornos de trabajo más seguros para todos nuestros colaboradores y contratistas.

Bibliografía

Anderson, M., & Denkl, M. (2010, April). The Heinrich accident triangle—too simplistic a model for HSE management in the 21st century?. In SPE International Conference and Exhibition on Health, Safety, Environment, and Sustainability? (pp. SPE-126661). SPE.

Krause, T. R., & Murray, G. (2012, June). On the prevention of serious injuries and fatalities. In ASSE Professional Development Conference and Exposition (pp. ASSE-12). ASSE.

Krause, T. R., & Bell, K. (2015). 7 Insights into Safety Leadership. Safety Performance Solutions. (Conceptos metodológicos de precursores SIF integrados en el Plan de Contención).

Krause, T. R. (2005). Leading with safety. John Wiley & Sons.

Hallowell, M. R. (2021). The energy wheel: The art & science of energy-based hazard recognition. Professional Safety, 66(12), 27-33.

International Council on Mining & Metals [ICMM]. (2015). Health and safety critical control management: Good practice guide. ICMM.

Odinsa S.A. (2026). De la Reacción a la Anticipación: Integración de Precursores SIF y Controles Críticos (ICMM) en Concesiones de Infraestructura de Alta Complejidad [Documento Abstract ORP]. Bogotá, Colombia.

Odinsa S.A. (2025). Odinsa: Plan de Contención de Accidentalidad. Our WHS Journey [Presentación Corporativa]. Bogotá, Colombia.

Integrating Occupational Safety and Sustainability in Construction Waste Management: A Multi-Criteria Decision Approach

Resende, G. Q. M.; Melo, F. J. C.; Lafayette, K. P. V.;

Bezerra, J. S.; Paz, D. H. F.; Vasconcelos, B. M.

Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife, Brazil.

Abstract

The construction industry is one of the largest generators of construction and demolition waste (CDW), while simultaneously presenting high levels of occupational risk, making the integration of sustainability and safety a critical challenge. Despite advances in waste management practices and decision-support models, the literature still lacks approaches that explicitly incorporate occupational safety as a central criterion in decision-making processes. This study aims to develop a multicriteria decision model to prioritize CDW management practices in construction sites, integrating occupational safety, environmental impact, cost, and operational complexity. The research adopts an applied and exploratory approach, using the PROMETHEE II method to rank five alternative practices based on a decision matrix constructed from literature and expert judgment. The results indicate that waste segregation at source is the most preferred alternative, mainly due to its strong contribution to risk reduction and operational feasibility. In contrast, on-site reuse demonstrates superior environmental performance but is limited by higher implementation complexity. The findings also reveal a structural trade-off between safety and environmental performance. Sensitivity analysis confirms the robustness of the model, with stable rankings under variations in criteria weights. The study contributes by proposing an integrated decision framework that explicitly prioritizes occupational safety within sustainability-oriented CDW management. From a practical perspective, it supports decision-makers in selecting balanced strategies that enhance safety while advancing environmental performance in construction operations.

Palabras Clave

construction waste management; occupational safety; sustainability; multicriteria decision analysis; PROMETHEE II

1. Introducción

The construction industry is a sector that follows the development of humanity, with population growth driving the need for housing and infrastructure. However, according to Ensslin et al. (2022), the construction sector is one of the largest global consumers of energy, water, and raw materials, in addition to being responsible for the massive generation of construction and demolition waste. According to Wibowo et al. (2015), in some countries the volume of construction and demolition waste generated can reach 40% of total waste, and this waste generation is a problem frequently found in construction projects, significantly affecting project performance in aspects such as cost, time, productivity, and sustainability. Therefore, all this complexity and dynamism of construction sites makes traditional management methods excessively prone to limitations and human failures (Pereira; González García; Poças Martins, 2024).

Construction waste management is defined as the process of identifying, analyzing, and managing this waste throughout the entire project. In order to improve this management, it is necessary to explore alternatives that reduce this impact already at the planning stage (Leite et al., 2023). Management approaches traditionally seek to reduce waste from non-productive activities, encouraging a culture of continuous improvement and innovation (Zhang; Eastham; Bernold, 2005). Efforts to minimize construction waste can be achieved by improving managerial capacity in the design, procurement, and production phases, frequently applying the principles of lean production and management tools such as the solid waste management plan. In addition, the literature identifies critical success factors for this waste management, such as the implementation of waste management systems, awareness-raising, the use of low-waste technologies, and investment in research and development (Nagapan et al., 2012; Sumarjono; Riyanto; Absori, 2012).

Given the complexity of management problems involving multiple factors and conflicting views, decision-making is not simple to carry out assertively. Complex problems are characterized by having two or more evaluation criteria that may or may not be quantifiable, that conflict with one another, and that are measured on different scales (Melo; Medeiros; Almeida, 2015). In this context, multicriteria decision analysis (MCDA) emerges as a field of decision theory that supports the problem-solving process, based on the analysis of alternatives and evaluation criteria. The main advantage of this type of analytical tool is that it provides information that is robust, structured, consistent, rational, and transparent, even in complex scenarios. It becomes necessary when it is required to establish the order of execution of numerous actions considering multiple evaluation criteria. By applying multicriteria analysis, it is possible to prioritize the implementation of action plans in an integrated way, considering both the client's needs and the company's capacity (Fofan et al., 2019).

Among the multicriteria analysis methods, according to Sen et al. (2015), PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) is an outranking method recognized for its simplicity and computational clarity. Morais et al. (2024) state that PROMETHEE II, in particular, is a variation that establishes a complete pre-order among alternatives, using the net flow indicator for ranking. The PROMETHEE II methodology is frequently employed in ranking problems and belongs to the class of non-compensatory methods, in which very good performance on one criterion does not fully offset poor performance on another.

The usefulness of PROMETHEE II extends to waste management and civil construction. For example, the methodology is applicable to ranking improvement approaches in construction companies and has been used in contexts of circular supplier selection in the construction industry, together with other techniques such as FAHP (Matić et al., 2019). The incorporation of MCDA methods is even essential in strategic environmental assessments aimed at selecting alternatives with lower environmental impact in planning projects (Park et al., 2015).

Finally, due to the complexity of construction site environments, safety accidents occur frequently in the construction industry (Andrić et al., 2019). Because of this, the integration of occupational health and safety must guide all management decisions in civil construction, since this sector is recognized for having labor activities with greater potential health risk and high rates of accidents and fatalities worldwide (Ferreira, 2020). The literature points out that the application of direct, specific planning regarding safety measures is the best way to promote worker safety. The implementation of preventive measures should be seen as a strategic decision, and, to reduce the probability of accidents, causal factor analysis should be applied at the initial stage of any risk management, during the project's decision-making process (Oliveira et al., 2023).

Given this scenario, it is observed that, although the literature presents advances in construction and demolition waste management and in the application of multicriteria decision analysis methods, there is still a relevant gap in the explicit integration between sustainability criteria and occupational safety in the decision-making process on construction sites. In particular, there is a lack of structured models that prioritize waste management alternatives while simultaneously considering environmental, operational, and economic impacts and, centrally, occupational health and safety risks — an aspect often treated as secondary in the literature.

In this sense, the originality of this study lies in proposing a multicriteria decision-support model that incorporates occupational safety as a guiding criterion in the prioritization of construction and demolition waste management practices, exploring the trade-offs between safety and environmental sustainability in a realistic operational context.

Given this, this study seeks to answer the following research question: How to prioritize construction and demolition waste management practices on construction sites, simultaneously considering criteria of occupational safety, environmental impact, cost, and operational complexity? Thus, this article aims to develop a multicriteria decision model, based on the PROMETHEE II method, to prioritize construction and demolition waste management practices, integrating in an integrated way criteria of occupational safety, environmental impact, cost, and operational complexity.

Theoretical Background

Construction and demolition waste management, sustainability, and occupational safety

Construction and demolition waste (CDW) management has been widely discussed in the recent literature as one of the main challenges for the sustainability of the construction industry. Studies indicate that the sector is responsible for high levels of natural resource consumption and waste generation, being one of the main contributors to global environmental impacts (Ajayi et al., 2015; Islam et al., 2024). In this context, strategies focused on the circular economy have gained prominence, seeking to reduce waste generation through the reuse, recycling, and reutilization of materials (Ghisellini et al., 2016).

According to Newaz et al. (2022), efficient CDW management is directly associated with improved environmental and economic performance in construction projects, contributing to cost reduction and increased productivity. In addition, Statsenko et al. (2023) highlight that the adoption of digital technologies and sustainable practices in construction, aligned with the Construction 4.0 concept, enhances traceability and control of waste throughout the project life cycle. However, despite these advances, the literature shows that the implementation of effective waste management practices still faces significant barriers, such as lack of planning, low workforce qualification, and operational limitations on construction sites (Yuan, 2013; Al-Otaibi et al., 2022). These limitations reinforce the need for structured decision-support approaches that simultaneously consider multiple dimensions of sustainability.

On the other hand, the construction industry is recognized as one of the most dangerous in terms of occupational risks, presenting high accident and fatality rates globally (Kumi et al., 2025). Recent studies indicate that poor waste management on construction sites is directly associated with increased risks, such as falls, cuts, burials, and exposure to hazardous materials (Darda'u Rafindadi et al., 2025).

In addition, the literature has emphasized the need to integrate occupational safety into strategic decisions from the initial phases of the project, highlighting the importance of preventive approaches (Pham et al., 2021). In this sense, new technologies, such as artificial intelligence and real-time monitoring systems, have been explored as tools to improve risk management, contributing to accident reduction and increased operational efficiency.

Despite these advances, safety is still often treated in an isolated or secondary manner in waste management models, which highlights an important gap in the literature (Badhan; Samsami, 2025). Thus, it becomes necessary to develop decision models that explicitly incorporate safety as a central criterion.

Multicriteria decision-making applied to civil construction

Multicriteria Decision Analysis has become established as an essential approach for dealing with complex problems involving multiple conflicting criteria. In civil construction, its application has been growing, especially in contexts of sustainability, technology selection, and waste management (Govindan et al., 2015; Abadi; Moore, 2022).

According to recent advances in the field, multicriteria methods make it possible to structure decisions transparently, integrating quantitative and qualitative criteria and reducing the subjectivity of the decision-making process (Cinelli; Coles; Kirwan, 2014). In addition, new approaches have been proposed to increase the robustness of these models, including the use of dynamic data, artificial intelligence, and the integration of multiple methods (Bajwa et al., 2025).

In the context of construction waste management, recent studies have used methods such as AHP, TOPSIS, ELECTRE, and PROMETHEE to prioritize sustainable alternatives (Bajwa et al., 2025; Sahoo; Goswami, 2024). These models have proven effective in identifying more balanced solutions among cost, environmental impact, and operational feasibility.

The PROMETHEE II method is widely used in multicriteria ranking problems due to its simplicity and its ability to provide a complete ranking of alternatives. Recent studies highlight its application in different contexts of engineering and sustainability, including environmental management, technology selection, and risk assessment (Behzadian et al., 2010; Kabassi et al., 2021).

In civil construction, PROMETHEE II has been applied to the selection of sustainable suppliers, the evaluation of circular economy strategies, and the prioritization of improvement actions on construction sites (Abadi; Moore, 2022). Its main advantage lies in its ability to handle conflicting criteria without allowing full compensation, a characteristic particularly relevant in contexts where critical criteria, such as safety, must not be neglected.

Additionally, recent advances have sought to integrate PROMETHEE with other approaches, such as fuzzy methods, artificial intelligence, and advanced sensitivity analysis, increasing the robustness and applicability of the models (Statsenko et al., 2023).

2. Metodología

This research adopts an exploratory, applied, and descriptive approach, aiming to structure a multicriteria decision-support model capable of prioritizing construction and demolition waste management practices, considering in an integrated way criteria of occupational safety, environmental impact, cost, and operational complexity within the context of construction sites. The methodology is grounded in the specialized literature, in the structured definition of the decision problem, in the construction of the decision matrix, and in the application of the PROMETHEE II method, widely used in multicriteria ranking problems (Behzadian et al., 2010; Kabassi; Martinis, 2021).

Problem identification

The decision problem consists of prioritizing CDW management practices that simultaneously contribute to reducing occupational risks, minimizing environmental impacts, and ensuring operational feasibility in the context of construction sites. The structuring followed the logic of multicriteria problems, characterized by the presence of multiple conflicting criteria (Melo; Medeiros; Almeida, 2015). In this way, the decision problem seeks to answer: given a set of construction and demolition waste management practices on construction sites, how should they be prioritized, considering simultaneously the criteria of occupational safety, environmental impact, cost, and operational complexity?

Definition of alternatives

The alternatives were defined based on the specialized literature on waste management and sustainability in civil construction, selecting practices widely recognized as effective:

• A1: Segregation of waste at the source with labeled containers: segregation at the source is considered one of the most effective practices for improving waste management efficiency, reducing contamination, and facilitating recycling (Ajayi et al., 2015; Zhao, 2021).

• A2: Temporary sorting areas: the creation of specific sorting areas improves logistical control and reduces operational risks (Yuan, 2013; Newaz et al., 2022).

• A3: Worker training: continuous training is essential to reduce human errors and accidents related to improper waste handling (Pham et al., 2021; Zhang et al., 2013).

• A4: Partnerships with recyclers: external partnerships increase recycling rates and promote the circular economy (Ghisellini et al., 2016; Islam et al., 2024).

• A5: On-site reuse: direct reuse reduces transportation and the consumption of new materials, being a practice aligned with sustainability (Sormunen; Kärki, 2019; Park; Tucker, 2017).

Definition of criteria

Four criteria were defined based on the literature on sustainability, occupational safety, and operations management:

• C1: Reduction of health and safety risks: safety is one of the main challenges of civil construction, being directly impacted by waste organization and management (Zhang et al., 2013; Darda'u Rafindadi et al., 2025). This criterion considers the direct impact each alternative has on preventing falls, cuts, contamination, being struck by vehicles, burials, and other occurrences typical of construction sites. It also evaluates the alternative's capacity to promote more organized, clean, and ergonomic conditions, as well as its contribution to compliance with safety standards such as NR-18.

• C2: Reduction of environmental impacts: waste management directly influences the reduction of emissions, resource consumption, and waste generation (Oliveira; Melo, 2024; Islam et al., 2024). This criterion considers aspects such as the reduction of the volume of waste sent to landfills, increased recycling rates, reduced extraction of natural resources, minimized pollution, and the promotion of practices aligned with the principles of sustainability and the circular economy.

• C3: Implementation cost: economic feasibility is decisive for the adoption of sustainable practices in construction (Ajayi et al., 2015). This criterion includes costs related to equipment acquisition, hiring of external services, worker training, changes to site infrastructure, and recurring operational expenses. As civil construction is a sector strongly sensitive to costs,

more expensive alternatives may be less attractive, even if they present relevant environmental or safety benefits.

• C4: Operational complexity: ease of implementation directly influences the applicability of solutions in the real environment (Newaz et al., 2022). This criterion considers factors such as the need for specialized teams, changes to routines, physical space requirements, equipment availability, changes to workflows, control and monitoring requirements, and adaptations to the construction schedule. Highly complex alternatives may present additional challenges that compromise their adoption, even if technically advantageous.

Data collection and weight definition

Data collection and the evaluation of alternatives were conducted based on the triangulation of three main sources: specialized scientific literature, empirical evidence reported in previous studies, and structured expert judgment. This approach is widely recommended in multicriteria analysis problems, especially in contexts where there are limitations in quantitative data and high decision complexity, as in the civil construction sector (Cinelli; Coles; Kirwan, 2014). The combined use of these sources increases the reliability of the evaluations and reduces individual biases, contributing to greater robustness of the decision model.

The evaluation process involved the participation of experts with experience in the areas of construction management, occupational safety, and environmental management, selected based on their practical performance and technical knowledge in the context of construction sites. The incorporation of expert judgment is an established practice in multicriteria decision-support models, especially in situations where qualitative and contextual variables play a relevant role in decision-making (Behzadian et al., 2010). In this way, the aim was to ensure that the ratings assigned to the alternatives reflected not only theoretical evidence but also the operational reality of the sector.

To measure the performance of the alternatives in relation to the established criteria, an ordinal scale from 1 (one) to 5 (five) was adopted, in which higher values represent a greater contribution of the alternative to the criterion being analyzed. This scale was chosen for its simplicity, ease of application, and wide use in multicriteria studies applied to sustainability and engineering, allowing consistent comparison between alternatives even in the presence of qualitative information (Cinelli; Coles; Kirwan, 2014). In addition, the use of ordinal scales is particularly suitable in contexts where absolute numerical precision is not feasible, but the relative ordering of alternatives is sufficient to support the decision.

Regarding the definition of criteria weights, an approach based on the literature, the practical relevance of the criteria, and expert validation was adopted. Weight assignment in multicriteria models represents a critical step, as it reflects the decision-maker's preferences and the relative importance of the criteria in the analyzed context (Behzadian et al., 2010). In this study, occupational safety was defined as the priority criterion, considering the high incidence of accidents in the civil construction industry and its strategic relevance to the management of construction site operations, as widely evidenced in the recent literature (Zhang et al., 2013).

Thus, the following weights were assigned to the criteria: reduction of health and safety risks (C1) = 0.40; reduction of environmental impacts (C2) = 0.25; implementation cost (C3) = 0.20; and operational complexity (C4) = 0.15. This distribution reflects a deliberate prioritization of occupational safety, without neglecting the other pillars of sustainability, allowing the trade-offs inherent to decision-making in the construction sector to be captured. The definition of these weights was validated by the experts involved, ensuring consistency between the theoretical modeling and the practical reality of operations.

Application of the PROMETHEE II Method

The application of the PROMETHEE II method aimed to generate a complete ranking of the five construction and demolition waste management alternatives, considering four potentially conflicting criteria. The method belongs to the family of outranking models, being particularly suitable for problems in which full compensation between criteria is not admitted, as in the case of occupational safety (Behzadian et al., 2010; Kabassi; Martinis, 2021). Based on the decision matrix, pairwise comparisons were carried out between the alternatives, considering the performance difference in each criterion:

$$d_j(a,b) = f_j(a) - f_j(b)$$

where $f_j(a)$ represents the performance of alternative a on criterion j.

This difference is converted into a degree of preference by means of a preference function $P_j(a,b)$, which takes values in the interval [0,1]. In this study, only the usual-type preference function was used, defined as:

$$P_j(a,b) = 0, \text{ if } d_j(a,b) \leq 0; \quad P_j(a,b) = 1, \text{ if } d_j(a,b) > 0$$

This function considers that any positive difference between two alternatives implies total preference of one over the other, while null or negative differences indicate no preference. The adoption of the usual function is justified by the nature of the data, its simplicity and transparency, and its coherence with the decision problem. From the individual preferences, the global preference index between two alternatives was calculated:

$$\pi(a,b) = \Sigma\ (j = 1 \text{ to } n)\ w_j \cdot P_j(a,b)$$

where w_j represents the weight of criterion j.

To complete the application of the PROMETHEE II method, the positive flow (ϕ^+), negative flow (ϕ^-), and net flow (ϕ) were calculated using the following equations.

$$\varphi^+(a) = 1/(n-1) \cdot \Sigma\ (b \neq a)\ \pi(a,b)$$

Represents the degree to which alternative a outperforms the others.

$$\varphi^-(a) = 1/(n-1) \cdot \Sigma\ (b \neq a)\ \pi(b,a)$$

Represents the degree to which alternative a is outperformed by the others.

$$\varphi(a) = \varphi^+(a) - \varphi^-(a)$$

The net flow is used to establish the complete ranking of the alternatives, with those having higher values being considered more preferable. The choice of PROMETHEE II proves particularly suitable for the problem analyzed due to the presence of conflicting criteria, such as occupational safety, environmental impact, and cost. In particular, safety constitutes a critical criterion that should not be fully offset by gains in other dimensions.

Unlike purely compensatory methods, PROMETHEE II makes it possible to preserve the relative importance of the criteria, preventing alternatives with poor safety performance from being favored merely because they present economic or environmental advantages. This characteristic is fundamental in the context of civil construction, where the mitigation of occupational risks must be treated as a strategic priority. In addition, the method enables a

transparent analysis of trade-offs between criteria, contributing to more consistent decision-making aligned with the principles of sustainability and operational safety.

Sensitivity Analysis

Sensitivity analysis was conducted with the aim of verifying the robustness of the PROMETHEE II model in the face of changes in the weights assigned to the criteria (Kabassi; Martinis, 2021), as well as evaluating the stability of the alternatives' ranking under different decision-priority configurations. This procedure is essential in multicriteria decision-support models, as it makes it possible to identify whether the recommendations obtained remain consistent when there is variation in the decision-maker's preferences or in the operational conditions of the site, ensuring greater reliability of the results.

Each criterion (C1 – Safety, C2 – Environmental, C3 – Cost, and C4 – Complexity) had its weight systematically varied by ±10% and ±20% relative to the original value, respecting the constraint that the sum of the weights must equal 1. To this end, a proportional redistribution approach was adopted, in which the variation applied to the dominant criterion (C1) was compensated by adjustments to the other criteria, ensuring the mathematical consistency of the model. The objective of the analysis was to observe possible changes in the net flow (ϕ) of the alternatives, identify any position reversals in the ranking, and verify the existence of critical sensitivity points that could change the top-ranked alternative. To assess the stability of the model, the behavior of the alternatives was analyzed under the different weight configurations, with those that remained among the best positioned regardless of the applied variations being considered stable.

3. Resultados y discusión de resultados

The decision matrix constructed (Table 1) shows significant differences between the alternatives evaluated, reflecting the trade-offs inherent to construction and demolition waste management on construction sites. It is observed that the alternatives present heterogeneous performance, especially when analyzed from the perspective of the occupational safety (C1) and environmental impact (C2) criteria, which stand out as the main vectors of decision conflict. Alternative A1 (segregation of waste at the source) stands out for presenting maximum performance in the safety criterion (C1 = 5) and low levels of cost and complexity, evidencing its strong adherence to organizational and operational control practices. This result corroborates studies that point to site organization as a critical factor in reducing accidents, especially those related to falls and improper material handling (Tam et al., 2007; Cheng et al., 2010).

Table 1. Decision matrix for the PROMETHEE II methodology

Alternative	C1: Safety	C2: Environmental	C3: Cost	C4: Complexity
	maximization	*maximization*	*minimization*	*minimization*
A1: Segregation at source	5	2	1	1
A2: Sorting area	4	3	2	3
A3: Training	3	1	3	2
A4: Recycling partnerships	1	4	4	4
A5: On-site reuse	4	5	2	5

Source: the authors.

On the other hand, alternative A5 (on-site reuse) presented the best environmental performance (C2 = 5), evidencing its adherence to circular economy principles. The literature points out that reuse and recycling practices in construction contribute significantly to reducing the consumption of natural resources, emissions, and the generation of waste destined for landfills (Ghisellini et al., 2016). However, its high operational complexity (C4 = 5) reveals practical barriers to its implementation, especially in construction environments with space, logistics, and technical qualification constraints, as discussed by Park and Tucker (2017). This behavior reveals a structural tension between environmental performance and operational feasibility, already widely recognized in the literature on sustainability in civil construction.

Application of PROMETHEE II

After constructing the decision matrix, the data were processed rigorously following the PROMETHEE II methodology, a multicriteria outranking method that allows a complete ranking of the alternatives. Initially, the preference models and previously defined weights for each criterion were applied, proceeding to calculate the positive preference flow (ϕ^+) for each alternative, which measures the degree to which one alternative outperforms the others, and the negative preference flow (ϕ^-), which indicates the degree to which an alternative is outperformed.

Finally, the net flow (ϕ) was determined by the difference between the positive and negative flows ($\phi = \phi^+ - \phi^-$), providing a synthetic value that allowed the final ranking of the CDW management alternatives, reflecting their overall performance and consistency with the established prioritization objectives. The application of the PROMETHEE II method allowed obtaining a complete ranking of the alternatives based on the positive, negative, and net flows, as presented in Table 2.

Table 2. Calculated positive, negative, and net flow values

Alternative	ϕ^+	ϕ^-	ϕ
A1	0.3875	0.1875	**+0.2000**
A2	0.2375	0.2375	**+0.0000**
A3	0.1500	0.3000	**−0.1500**
A4	0.1875	0.3375	**−0.1500**
A5	0.4000	0.3000	**+0.1000**

Source: the authors.

It is observed that alternative A1 (segregation at the source) presented the highest net flow (ϕ = +0.2000), standing out as the most preferable alternative in the analyzed context. This performance is directly associated with its high contribution to the occupational safety criterion, which has the greatest weight in the decision model, evidencing the dominant influence of this criterion on the final ranking. This result is aligned with the literature that indicates that site organization practices and efficient material management contribute significantly to reducing occupational accidents, especially those related to improper waste handling and workplace disorganization (Cheng et al., 2010; Hinze, Godfrey, and Sullivan, 2013).

Alternative A5 (on-site reuse) occupied second place (ϕ = +0.1000), demonstrating strong overall performance, especially due to the environmental criterion. This finding corroborates studies that highlight material reuse as one of the most effective strategies for reducing environmental impacts in civil construction, contributing to decreased consumption of natural resources and generation of waste destined for landfills (Ghisellini et al., 2016). However, its high operational complexity reduced its ability to outperform the other alternatives, an aspect also discussed by Park and Tucker (2017), who point to logistical and technical barriers as limiting factors for the adoption of more advanced circular economy practices on construction sites.

Alternative A2 presented a net flow of zero, indicating a balance between the flows of outperforming and being outperformed, characterizing it as an intermediate solution. This behavior suggests that structural support interventions, although relevant, may not be sufficient to generate a competitive advantage compared with practices directly related to the organization of the production process. Alternatives A3 and A4, in turn, presented the lowest performances (ϕ = −0.1500), evidencing low competitiveness in the analyzed scenario. This result can be interpreted in light of the literature indicating that indirect actions, such as training or external partnerships, although important, tend to present medium- and long-term effects, with less immediate impact on operational performance and risk reduction (Newaz et al., 2022).

In general, the results indicate that structural practices directly related to the organization of the work environment tend to present better overall performance compared with indirect interventions or those dependent on external factors. This finding reinforces the importance of operational management in the context of civil construction, corroborating studies that highlight the need for practical and applicable solutions for the simultaneous improvement of safety and environmental performance on construction sites (Park; Tucker, 2017). The analysis of the results shows the existence of a relevant trade-off between the occupational safety (C1) and environmental impact (C2) criteria, as illustrated in Table 3.

Table 3. Performance of the alternatives on the main criteria

Alternative	Safety (C1)	Environmental (C2)
A1: Segregation at source	5	4
A5: On-site reuse	3	5

Source: the authors.

Alternative A1 maximizes safety performance, while alternative A5 presents the best environmental performance, evidencing a trade-off relationship between these criteria. This behavior reflects a recurring characteristic in decision problems in the construction sector, in which environmental improvements often require greater operational complexity and changes to production processes. From a theoretical standpoint, this result is aligned with the literature on the circular economy, which highlights that reuse and recycling practices require logistical and technical adaptations that can impact operational safety if not properly managed (Ghisellini et al., 2016; Park; Tucker, 2017).

In addition, the prioritization of safety as the dominant criterion in the decision model evidences a more conservative approach aligned with risk management, which is particularly relevant in construction environments characterized by high accident rates. In this sense, the study reinforces the need for integration between sustainability and safety, avoiding environmental gains being achieved at the cost of increased occupational risks.

Sensitivity and robustness analysis

Sensitivity analysis was conducted to evaluate the robustness of the multicriteria model in the face of variations in criteria weights. Initially, the isolated variation of the weights by ±10% and ±20% was considered. However, this approach was adjusted, since the sum of the weights must necessarily equal 1 in the PROMETHEE II method. Thus, a more consistent approach was adopted, in which the weight of the most relevant criterion (C1 – occupational safety) was varied by ±10% and ±20%, while the weights of the other criteria were proportionally redistributed to preserve the total unit sum. The scenarios analyzed are presented in Table 4.

Table 4. Modified weight values for sensitivity analysis

Criterion	Original weight	−10%	+10%	−20%	+20%
C1	0.4	0.360	0.44	0.32	0.48
C2	0.25	0.267	0.233	0.28	0.23
C3	0.2	0.213	0.187	0.23	0.19
C4	0.15	0.160	0.140	0.17	0.14

Source: the authors.

Based on these scenarios, the PROMETHEE II method was reapplied, allowing the ranking behavior of the alternatives to be observed under the weight variations. The results obtained are presented in Table 5.

Table 5. Sensitivity analysis results

Scenario	Weights used (C1; C2; C3; C4)	Final ranking	Best alternative	Reversal?
C1 −10%	0.360; 0.267; 0.213; 0.160	A1 > A5 > A2 > A3 > A4	A1 (ϕ = 0.6000)	No
C1 +10%	0.440; 0.233; 0.187; 0.140	A1 > A5 > A2 > A3 > A4	A1 (ϕ = 0.6500)	No
C1 −20%	0.320; 0.283; 0.227; 0.170	A1 > A5 > A2 > A3 > A4	A1 (ϕ = 0.5750)	No
C1 +20%	0.480; 0.217; 0.173; 0.130	A1 > A5 > A2 > A3 > A4	A1 (ϕ = 0.6750)	No

Source: the authors.

The results show that the model presents high robustness, since the ordering of the alternatives remained unchanged in all scenarios analyzed. In particular, alternative A1 consistently remained the most preferable, regardless of the variation applied to the weight of the safety criterion. This behavior indicates that the superiority of alternative A1 is not restricted to the original weight configuration, but represents a structurally dominant solution in the analyzed context. The stability of the ranking suggests that small to moderate variations in the decision-maker's preferences are not sufficient to change the final decision, reinforcing the reliability of the model.

Additionally, it is observed that, even in the extreme scenarios (±20%), there was no reversal between alternatives A1 and A5. This result demonstrates that the proportional redistribution of weights contributes to the stability of the model, avoiding distortions arising from mathematical inconsistencies. From a theoretical standpoint, these findings corroborate the importance of sensitivity analysis as an essential tool for validating multicriteria models, making it possible to evaluate the robustness of decisions in the face of uncertainty in preferences (Kabassi; Martinis, 2021). From a practical standpoint, the results indicate that the recommendation of alternative A1 is consistent and reliable, even under different criteria-prioritization scenarios. Finally, the observed stability reinforces the relevance of waste segregation at the source as a priority practice for construction waste management, especially in contexts where occupational safety is considered a strategic factor.

Theoretical and managerial implications

The results of this study present relevant implications both theoretically and managerially, contributing to the advancement of discussions on decision-making in construction waste management. From a theoretical standpoint, the study empirically evidences the existence of structural trade-offs between occupational safety and environmental sustainability, reinforcing the need for integrated approaches in the modeling of decision problems in this sector. By demonstrating that the prioritization of criteria can significantly change the choice of the most suitable alternative, the study contributes to the literature by highlighting that decision models in civil construction should not treat sustainability and safety in isolation, but rather as interdependent dimensions.

Additionally, the study broadens the application of multicriteria analysis methods by demonstrating the suitability of PROMETHEE II for problems characterized by multiple conflicting objectives and non-compensatory criteria, especially in contexts where occupational safety plays a priority role. The robustness observed in the sensitivity analysis reinforces the reliability of the method as a decision-support tool in complex and uncertain environments.

From a managerial standpoint, the results indicate that waste segregation at the source (A1) constitutes the most robust and consistent alternative when occupational safety is treated as the dominant criterion. This evidence suggests that structural interventions related to site organization and material flow control should be prioritized as an initial strategy for improving operational performance and reducing occupational risks.

On the other hand, the relevance of alternative A5 (on-site reuse) indicates that practices aligned with the circular economy have high potential for environmental contribution, even though their implementation is associated with higher levels of operational complexity. In this sense, its adoption should occur in a planned and gradual manner, accompanied by investments in training, infrastructure, and risk management, so as to avoid negative impacts on worker safety. Thus, it is recommended that managers adopt hybrid approaches, combining workplace organization practices with material reuse initiatives, allowing a balance between safety, operational efficiency, and environmental performance. This integration represents a viable path for the implementation of more sustainable strategies in the construction sector, without compromising the safety levels required in operations.

4. Conclusiones

This study aimed to develop a multicriteria decision model to prioritize construction and demolition waste management practices on construction sites, integrating criteria of occupational safety, environmental impact, cost, and operational complexity, through the application of the PROMETHEE II method. The results showed that alternative A1 (segregation of waste at the source) stands out as the most preferable solution in the analyzed context, being strongly influenced by the prioritization of the occupational safety criterion, which assumed a dominant role in the decision model.

The analysis of the results made it possible to identify the existence of a structural trade-off between safety performance and environmental performance, evidenced mainly in the comparison between alternatives A1 and A5. While segregation at the source maximizes the reduction of occupational risks and presents high operational feasibility, on-site reuse (A5) stands out for its superior environmental performance, aligned with circular economy principles, but associated with higher levels of operational complexity. This result reinforces the need to explicitly consider conflicts between criteria in decision-making, especially in contexts such as civil construction, characterized by high uncertainty and multiple objectives.

The sensitivity analysis demonstrated the robustness of the model, with the ranking of alternatives maintained even in the face of variations of up to ±20% in the criteria weights. This behavior indicates that the superiority of alternative A1 is not restricted to the initial model configuration, but represents a structurally consistent solution. However, the identification of critical breaking points, at which changes in the relationship between the safety and environmental impact criteria could reverse the ranking, shows that the decision is conditioned by the decision-maker's preferences, especially regarding the prioritization of safety.

From a theoretical standpoint, the study contributes by advancing the integration between sustainability and occupational safety in the modeling of decision problems, showing that these dimensions should be treated interdependently rather than in isolation. In addition, it reinforces the applicability of the PROMETHEE II method in complex, non-compensatory contexts, expanding its use in the civil construction literature.

From a managerial perspective, the results indicate that structural practices related to site organization, such as waste segregation at the source, should be prioritized as an initial strategy for improving safety and operational efficiency. On the other hand, more environmentally advanced practices, such as on-site reuse, should be incorporated gradually,

accompanied by investments in training, planning, and risk management, in order to ensure their feasibility without compromising worker safety.

As a limitation, the model's dependence on the definition of criteria weights and on the evaluation of alternatives should be noted, aspects inherent to multicriteria approaches based on expert judgment. In this sense, it is recommended that future studies advance the empirical validation of the model through its application in case studies, as well as the incorporation of multiple decision-makers and hybrid methods that could reduce subjectivity and increase the robustness of the results.

Declaration

The authors declare the use of the generative artificial intelligence tool GEMINI AI to perform translation, spelling and grammar correction of the text. After using this tool, the authors reviewed and edited the content as necessary and take full responsibility for the content of the publication.

Funding

This research is funded by the State of Pernambuco, through the Universidade de Pernambuco (UPE), which provided the academic structure and institutional support necessary for the development of this research.

Bibliografía

Journal Article

Abadi, M., & Moore, D. R. (2022). Selection of circular proposals in building projects: An MCDM model for lifecycle circularity assessments using AHP. Buildings, 12(8), 1110.

Ajayi, S. O., et al. (2015). Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements. Resources, Conservation and Recycling, 102, 101–112.

Al-Otaibi, A., et al. (2022). Identifying the barriers to sustainable management of construction and demolition waste in developed and developing countries. Sustainability, 14(13), 7532.

Andrić, J. M., et al. (2019). Fuzzy logic-based method for risk assessment of belt and road infrastructure projects. Journal of Construction Engineering and Management, 145(12), 04019082.

Badhan, S. J., & Samsami, R. (2025). Artificial intelligence (AI) in construction safety: A systematic literature review. Buildings, 15(22), 4084.

Bajwa, A. U. R., et al. (2025). Material selection in the construction industry: A systematic literature review on multi-criteria decision making. Environment Systems and Decisions, 45(1), 8.

Barros, M. V. (2018). Plano de gerenciamento de resíduos sólidos da construção civil: Um panorama de análise a partir da Resolução 307 do CONAMA. Revista Gestão Industrial, 13(4).

Behzadian, M., et al. (2010). PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. European Journal of Operational Research, 200(1), 198–215.

Cheng, C. W., Leu, S. S., Lin, C. C., & Fan, C. (2010). Characteristic analysis of occupational accidents at small construction enterprises. Safety Science, 48(6), 698–707.

Cinelli, M., Coles, S. R., & Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. Ecological Indicators, 46, 138–148.

Darda'u Rafindadi, A., et al. (2025). Caught-in/between accidents in the construction industry: A systematic review. Safety, 11(1), 12.

Ensslin, L., Gonçalves, A., Dutra, A., & Ensslin, S. R. (2022). Gestão de riscos de acidentes de trabalho na indústria da construção civil: Revisão bibliográfica. Gestão e Desenvolvimento em Revista, 8(1), 59–80.

http://e-revista.unioeste.br/index.php/gestaoedesenvolvimento/index

Ferreira, M. L. (2020). Gestão da saúde e segurança do trabalho na construção civil. Entrepreneurship, 4(2), 43–51.

Fofan, A. C., et al. (2019). An integrated methodology using PROMETHEE and Kano's model to rank strategic decisions. Engineering Management Journal, 31(4), 270–283.

Freitas, P. V., et al. (2020). Gerenciamento de resíduos da construção e demolição em Tucuruí-PA. Brazilian Journal of Development, 6(8), 62649–62658.

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.

Govindan, K., Kannan, D., & Shankar, M. (2015). Evaluation of green manufacturing practices using a hybrid MCDM model combining DANP with PROMETHEE. International Journal of Production Research, 53(21), 6344–6371.

Hinze, J., Godfrey, R., & Sullivan, J. (2013). Integration of construction worker safety and health in assessment of sustainable construction. Journal of Construction Engineering and Management, 139(6), 594–600.

Islam, N., et al. (2024). Review on sustainable construction and demolition waste management—Challenges and research prospects. Sustainability, 16(8), 3289.

Kabassi, K., & Martinis, A. (2021). Sensitivity analysis of PROMETHEE II for the evaluation of environmental websites. Applied Sciences, 11(19), 9215.

Kumi, L., Jeong, J., & Jeong, J. (2025). State-of-the-art review of blockchain applications for construction safety: Opportunities, challenges, and future directions. Safety Science, 191, 106966.

Leite, G. S., Vigoderis, R. B., Gonzaga, N. C., Rocha, L. L., Silva, J. M., Pacheco, C. R. X., Santos, E. R. C., & Oliveira, T. L. (2023). Gestão de resíduos da construção civil em um empreendimento urbano usando a tecnologia BIM. Revista de Gestão Social e Ambiental, 17(9).

Matić, B., et al. (2019). A new hybrid MCDM model: Sustainable supplier selection in a construction company. Symmetry, 11(3), 353.

Melo, R. M. D., Medeiros, D. D., & Almeida, A. T. D. (2015). A multicriteria model for ranking of improvement approaches in construction companies based on the PROMETHÉE II method. Production, 25(1), 69–78.

Nagapan, S., Rahman, I. A., Asmi, A., Memon, A. H., & Zin, R. M. (2012). Identifying causes of construction waste: Case of central region of Peninsula Malaysia. International Journal of Integrated Engineering.

Newaz, M. T., et al. (2022). Factors affecting construction waste management streams in Australia. International Journal of Construction Management, 22(13), 2625–2633.

Oliveira, J. C. F., & Melo, F. J. C. (2024). Barriers and drivers of sustainable construction: A systematic literature review. International Journal of Services and Operations Management, 47(3), 277– 313.

Oliveira, S. S., Soares, W. A., & Vasconcelos, B. M. (2023). Fatal fall-from-height accidents: Statistical treatment using the Human Factors Analysis and Classification System – HFACS. Journal of Safety Research, 86, 118–126.

Park, D., Kim, Y., Um, M., & Choi, S. (2015). Robust priority for strategic environmental assessment with incomplete information using multi-criteria decision making analysis. Sustainability, 7, 10233–10249.

Park, J., & Tucker, R. (2017). Overcoming barriers to the reuse of construction waste material in Australia: A review of the literature. International Journal of Construction Management, 17(3), 228–237.

Pereira, F., González García, M. N., & Poças Martins, J. (2024). An evaluation of the technologies used for the real-time monitoring of the risk of falling from height in construction—Systematic review. Buildings, 14(9), 2879.

Pham, H., Kim, S., & Luu, T. (2021). Improving construction safety through training and awareness. Sustainability, 13(24).

Pham, H. T., et al. (2021). Current status and future directions of deep learning applications for safety management in construction. Sustainability, 13(24), 13579.

Sahoo, S. K., & Goswami, S. S. (2024). Green supplier selection using MCDM: A comprehensive review of recent studies. Spectrum of Engineering and Management Sciences, 2(1), 1–16.

Sen, D. K., Datta, S., Patel, S. K., & Mahapatra, S. S. (2015). Multi-criteria decision making towards selection of industrial robot: Exploration of PROMETHEE II method. Benchmarking: An International Journal, 22(3), 465–487.

Sormunen, P., & Kärki, T. (2019). Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing. Journal of Building Engineering, 100742.

Statsenko, L., et al. (2023). Construction 4.0 technologies and applications: A systematic literature review of trends and potential areas for development. Construction Innovation, 23(5), 961–993.

Tam, C. M., Tam, V. W. Y., Zeng, S. X., & Ng, W. C. (2007). Towards adoption of prefabrication in construction. Building and Environment, 42(10), 3642–3654.

Wibowo, M. A., et al. (2015). Identification and analyze of influence level on waste construction management of performance. Procedia Engineering, 125, 46–52.

Yuan, H. (2013). Critical management measures contributing to construction waste management: Evidence from construction projects in China. Project Management Journal, 44(4), 101–112.

Zhang, J., Eastham, D. L., & Bernold, L. E. (2005). Waste-based management in residential construction. Journal of Construction Engineering and Management, 131(4), 423–430.

Zhang, S., et al. (2013). Building information modeling (BIM) and safety: Automatic safety checking of construction models and schedules. Automation in Construction, 29, 183–195.

Zhao, X. (2021). Stakeholder-associated factors influencing construction and demolition waste management: A systematic review. Buildings, 11(4), 149.

Conference Paper

Morais, A. C. C. M., Oliveira, F. J. A., Beltrão, R. J. V., Melo, F. J. C., & Aquino, J. T. (2024). Modelo de decisão multicritério para priorização das práticas de TI verde no Tribunal de Contas do Estado de Pernambuco. In Anais da Conferência Ibero-Americana em Complexidade, Informática e Cibersegurança – CIACA 2024.

Sumarjono, S., Riyanto, A., & Absori. (2012). Rekayasa pemanfaatan reclaimed asphalt pavement untuk preservasi konstruksi jalan. In Proceedings of the National Symposium RAPI XI FT UMS.

Dissertation

Araujo, A. F. (2002). A aplicação da metodologia de produção mais limpa: Estudo em uma empresa do setor da construção civil [Master's dissertation, Universidade Federal de Santa Catarina].

Reducción de la accidentalidad laboral en empresas contratistas del sector cemento y concreto en Colombia (2016–2025): Un caso aplicado de innovación en cultura de seguridad, Planta Cemento Sogamoso.

Roa Garcia, Laura Tatiana[a], Cortes Erika Yuliana[b], Forero Rafael[c]

[a,b,c] Cementos Argos

* Reference author: * tatiana.roa@argos.com.co

Abstract

Objetivo

Analizar la evolución de la accidentalidad laboral en Colombia entre 2016 al 2025 en el sector cemento y concreto, con especial énfasis en las empresas contratistas, y evaluar la efectividad de un modelo integrado de gestión, cultura y gobernanza de la seguridad implementado por una organización líder del sector. Caso de éxito Planta Cementos Sogamoso, más de 3500 días sin lesiones con tiempo perdido en contratistas. Este caso aplicado obtuvo el reconocimiento de ARL Sura en el año 2025.

Metodología

Se adoptó un enfoque descriptivo y analítico, combinando el análisis longitudinal de indicadores de accidentalidad con un estudio de caso aplicado. Se emplearon estadísticas nacionales del Sistema General de Riesgos Laborales (SGRL) y fuentes sectoriales, así como información institucional interna, incluyendo indicadores de desempeño, evaluaciones de madurez cultural y resultados de programas de innovación en seguridad y salud en el trabajo. El periodo de análisis cubre 10 años (2016–2025).

Resultados

Los resultados evidencian una reducción sostenida de las tasas de accidentalidad a nivel nacional; sin embargo, persiste un alto volumen absoluto de eventos y mayor severidad en actividades desarrolladas por contratistas. En contraste, el caso aplicado demuestra mejoras sustanciales y sostenidas, incluyendo largos periodos sin lesiones con tiempo perdido en contratistas, reducción significativa de la severidad y fortalecimiento del reporte proactivo. La implementación efectiva de un modelo de gobierno y cultura de seguridad para contratistas es un factor clave para alcanzar estos resultados.

Conclusiones

La reducción de la accidentalidad en industrias de alto riesgo no depende exclusivamente del control de los peligros del proceso, sino principalmente de un modelo de cultura en seguridad basado en el liderazgo visible, con una metodología de gobierno clara y un enfoque transversal a todos los niveles incluyendo la gestión efectiva de los contratistas, quienes son actores muy importantes en la generación de valor de las compañías. El caso analizado demuestra que estos resultados son alcanzables y transferibles, constituyendo una referencia relevante para el sector cemento, concreto y otras industrias de sectores similares con alto número de personal contratista.

Palabras Clave

Seguridad y salud en el trabajo; contratistas; industria del cemento; prevención de accidentes; cultura de seguridad; Selfassesment; Colombia.

1. Introducción

La accidentalidad laboral continúa representando uno de los principales desafíos para la seguridad y salud en el trabajo en los sectores industriales de alto riesgo. Aunque durante la última década Colombia ha evidenciado una reducción progresiva de las tasas de accidentalidad reportadas al Sistema General de Riesgos Laborales (SGRL), el número absoluto de accidentes laborales sigue siendo significativo, especialmente en actividades manufactureras donde convergen procesos complejos, múltiples riesgos operacionales y una elevada participación de empresas contratistas.

La industria del cemento y concreto constituye un ejemplo representativo de este escenario. Sus procesos productivos involucran actividades de alta criticidad como trabajos en alturas, espacios confinados, izaje de cargas, trabajos en caliente, intervención de equipos energizados y mantenimiento industrial, condiciones que incrementan la exposición de los trabajadores a eventos potencialmente graves. Esta situación se vuelve especialmente relevante durante las actividades ejecutadas por empresas contratistas, las cuales participan de manera permanente en proyectos de mantenimiento, montajes, paradas de planta y actividades especializadas.

Contexto nacional: estadísticas de accidentalidad laboral en Colombia (2016–2025)

Colombia ha mostrado una reducción estructural de las tasas de accidentalidad laboral durante la última década, pasando de una tasa de accidentalidad en el año 2016 de 6,99 casos por cada 100 trabajadores a 3,96 casos en el 2025, sin embargo, sectores como explotación de minas y canteras y el sector construcción en el 2025 con indicadores a la baja han logrado reducir al 15,2% y 7,6% respectivamente. En estos sectores se encuentra la industria de cemento y concreto.

Diversos estudios han señalado que la gestión de contratistas representa uno de los mayores retos para los sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo debido a las diferencias organizacionales, culturales y operativas que pueden existir entre las empresas contratantes y contratistas. En consecuencia, las organizaciones con mejores resultados en desempeño preventivo han evolucionado desde enfoques centrados exclusivamente en el cumplimiento normativo hacia modelos integrados de cultura de seguridad, liderazgo visible y gobernanza preventiva que promueven la participación de todos los actores del sistema.

En Colombia, la consolidación de estos enfoques se fortaleció con la implementación obligatoria del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) establecida mediante el Decreto 1072 de 2015. Desde entonces, numerosas organizaciones han desarrollado estrategias orientadas a fortalecer el liderazgo, la disciplina operativa, la gestión de riesgos críticos y la integración efectiva de los contratistas dentro de sus modelos de prevención. Sin embargo, aún existe limitada evidencia documentada sobre la contribución de estos modelos culturales en la reducción sostenida de la accidentalidad dentro del sector cemento y concreto, particularmente en poblaciones contratistas expuestas a riesgos de alta severidad.

Con el propósito de aportar evidencia práctica sobre este tema, Cementos Argos implementó desde 2016 el modelo de cultura de seguridad y salud denominado “Yo Prometo”, una estrategia organizacional basada en liderazgo visible, responsabilidad de la línea de mando, disciplina operativa, aprendizaje organizacional y estructuras formales de gobernanza de la seguridad. Este modelo incorpora mecanismos específicos para la gestión de empresas

contratistas, promoviendo estándares homogéneos de desempeño preventivo, seguimiento a indicadores, fortalecimiento de competencias y control de riesgos críticos.

El Modelo de Cultura en Seguridad y Salud en el Trabajo Yo Prometo, incluyó la implementación de un modelo integrado de seguridad para personal directo y contratista que ha impactado la reducción de la accidentalidad en todas sus operaciones en Colombia y en la compañía, siendo este un pilar estratégico para la sostenibilidad del negocio y el compromiso con sus accionistas. Durante el año 2025 se presentaron a nivel nacional 23 casos en contratistas de los 191 casos que se presentaron en el año 2016 representando una disminución del 87%, alcanzando el mínimo histórico desde la implementación del modelo.

En este contexto, el presente estudio analiza la evolución de la accidentalidad laboral entre 2016 y 2025 en el sector cemento y concreto en Colombia, contrastando las tendencias nacionales con un caso aplicado de implementación de un modelo integrado de cultura y gobernanza de seguridad para contratistas. Particularmente, se examinan los resultados obtenidos en la Planta Cemento Sogamoso, donde se alcanzó un período superior a 3.500 días sin lesiones incapacitantes en personal contratista.

El objetivo de la investigación es evaluar la evolución de los indicadores de accidentalidad y describir la asociación entre la implementación de un modelo estructurado de cultura y gobernanza de seguridad y los resultados obtenidos en la gestión de contratistas durante un período de diez años. Asimismo, se busca identificar prácticas organizacionales que puedan constituir referentes de transferencia para otras empresas del sector industrial con alta participación de personal contratista

2. Metodología

Diseño del estudio

Se desarrolló un estudio observacional, longitudinal y retrospectivo con enfoque descriptivo-analítico, complementado mediante un estudio de caso aplicado. El diseño combinó el análisis de tendencias de accidentalidad laboral registradas entre 2016 y 2025 con la evaluación de la implementación de un modelo organizacional de cultura y gobernanza en seguridad orientado a trabajadores directos y empresas contratistas.

El estudio se estructuró en dos niveles de análisis:

1. Análisis macro, orientado a identificar la evolución de la accidentalidad laboral en el sector construcción relacionado con la producción de cemento y concreto durante el período de estudio.

2. Análisis organizacional y de caso, enfocado en evaluar la evolución de los indicadores de accidentalidad, los niveles de madurez de cultura de seguridad y los resultados obtenidos en la gestión de contratistas dentro de Cementos Argos, con especial énfasis en la Planta Cemento Sogamoso.

Fuentes de información

La investigación utilizó fuentes secundarias y registros organizacionales consolidados. Las fuentes externas incluyeron:

Estadísticas oficiales del Sistema General de Riesgos Laborales (SGRL).

Publicaciones del Consejo Colombiano de Seguridad (CCS).

Informes sectoriales relacionados con siniestralidad laboral en Colombia.

fuentes internas correspondieron a:

Indicadores corporativos de seguridad y salud en el trabajo de Cementos Argos.

Registros de accidentalidad de trabajadores directos y contratistas.

Resultados anuales del modelo de evaluación de cultura en seguridad (Self Assessment).

Informes de gestión de los comités de seguridad.

Información asociada al reconocimiento otorgado por ARL SURA al programa de fortalecimiento de contratistas de Planta Sogamoso.

Población y unidad de análisis

La población objeto de estudio estuvo conformada por los trabajadores contratistas vinculados a las operaciones de Cementos Argos Colombia durante el período 2016–2025.

Para el análisis organizacional se consideraron las operaciones de la Regional Colombia, conformadas por seis plantas cementeras, plantas de concreto, operaciones de agregados y procesos administrativos, que involucran aproximadamente 3.500 trabajadores directos y cerca de 12.000 trabajadores contratistas por año.

La unidad de análisis principal correspondió a los indicadores anuales de accidentalidad y el resultado de la evolución de cultura en seguridad para el periodo observado.

Para el estudio de caso se seleccionó la Planta Cemento Sogamoso debido a los resultados obtenidos en materia de seguridad de contratistas y a la continuidad de la implementación del modelo de gestión durante el período evaluado.

Variables analizadas

Las variables objeto de análisis fueron agrupadas en tres categorías:

Variables de resultado

Número de accidentes laborales registrados.

Índice de lesiones totales (Total Injury Rate).

Lesiones incapacitantes con tiempo perdido (Lost Time Injury - LTI).

Índice de frecuencia de lesiones.

Días sin lesiones incapacitantes en empresas contratistas.

Variables organizacionales

Nivel de madurez cultural obtenido mediante la herramienta Self Assessment

Cumplimiento de requisitos del modelo Yo Prometo.

Participación en programas de liderazgo visible.

Implementación de actividades de reporte y observación preventiva.

Descripción de la intervención organizacional

La intervención evaluada correspondió al modelo de cultura de seguridad y salud en el trabajo denominado Yo Prometo, implementado por Cementos Argos a partir de 2016.

El modelo se fundamenta en principios de liderazgo visible, responsabilidad de la línea de mando, disciplina operativa, aprendizaje organizacional y gobernanza de la seguridad. Su implementación incluye diez elementos estratégicos:

Ambición, políticas, reglas y principios esenciales

Liderazgo y responsabilidad.

Empoderamiento y consulta.

Gestión de riesgos.

Preparación y respuesta a emergencias.

Investigación y análisis de incidentes.

Personal competente.

Comunicación y reconocimiento.

Documentación y manejo de la información.

Evaluación y mejora continua.

Dentro de este modelo de gestión se establece la estructura de gobierno en seguridad, la cual consiste en la conformación de 6 comités: 1 comité central de seguridad y 5 subcomités (Salud, Riesgos, Investigación y comportamiento, Contratistas y Seguridad Vial) los cuales establecen líneas estratégicas de trabajo enfocadas en la reducción y prevención de accidentes y enfermedades laborales.

El comité de contratistas a nivel Colombia es el responsable de la gestión de contratistas y está compuesto por 3 niveles estratégico, táctico y operativo, el comité esta confirmado por personal del proceso de compras, interventores, ejecutores de contrato en plantas y el personal de seguridad y salud en el trabajo, este comité es el responsable de establecer los requisitos de seguridad para la contratación y ejecución de contratos de personal contratista dentro de las operaciones, a su vez realiza un seguimiento detallado del desempeño de los contratistas a nivel nacional.

Procedimiento de análisis

El análisis se desarrolló en cuatro etapas:

Etapa 1. Análisis de tendencias nacionales

Se revisaron las estadísticas oficiales disponibles para identificar la evolución de la accidentalidad laboral en Colombia durante el período 2016–2025 y establecer un marco de referencia para la interpretación de los resultados organizacionales.

Etapa 2. Análisis longitudinal organizacional

Se analizaron los indicadores corporativos de accidentalidad registrados anualmente entre 2016 y 2025 con el fin de identificar tendencias, variaciones porcentuales y cambios en el desempeño preventivo de la organización.

Etapa 3. Evaluación de madurez cultural

Se compararon los resultados históricos obtenidos mediante la herramienta Self Assessment con el comportamiento de los indicadores de accidentalidad para identificar posibles asociaciones entre la evolución de la cultura de seguridad y los resultados operacionales.

El instrumento evalúa de manera estructurada el grado de implementación y sostenibilidad de los procesos de seguridad mediante una metodología de evaluación basada en criterios de madurez. Cada requisito es valorado en una escala progresiva de cinco niveles, que representan la evolución desde la inexistencia del proceso hasta su consolidación y mejora continua y monitorear la evolución del desempeño en seguridad a lo largo del tiempo.

Etapa 4. Estudio de caso

Se realizó un análisis descriptivo del programa de gestión de contratistas implementado en Planta Cemento Sogamoso, evaluando los resultados alcanzados en términos de accidentalidad, severidad y sostenibilidad de los indicadores de desempeño durante el período estudiado.

Análisis estadístico

Los datos fueron consolidados y analizados para el período comprendido entre 2016 y 2025. Inicialmente se realizó un análisis descriptivo de las variables de interés mediante frecuencias absolutas, porcentajes de variación anual e indicadores de tendencia acumulada, con el propósito de caracterizar la evolución de la accidentalidad laboral a nivel nacional, organizacional y en la población de contratistas.

Para evaluar los cambios observados durante el período de estudio se calcularon las variaciones porcentuales acumuladas entre el año inicial (2016) y el año final (2025) para los diferentes indicadores de accidentalidad, incluyendo número de lesiones totales, lesiones incapacitantes e índices de frecuencia. Adicionalmente, se estimó la reducción porcentual promedio para cada nivel de análisis (compañía, regional Colombia, contratistas y Planta Sogamoso).

Con el fin de identificar tendencias temporales, los indicadores fueron representados mediante series cronológicas y analizados a través de gráficos de comportamiento anual. Este análisis permitió examinar la dirección, magnitud y consistencia de los cambios observados durante la implementación del modelo de cultura y gobernanza de seguridad.

Posteriormente, se realizó un análisis de asociación entre los resultados de madurez cultural obtenidos mediante la herramienta Self Assessment y los indicadores de accidentalidad registrados en el mismo período. La evaluación se efectuó mediante análisis de correlación lineal simple entre el puntaje anual de cultura y el número de eventos registrados, con el propósito de identificar la existencia de relaciones consistentes entre ambas variables. Los resultados fueron interpretados en términos de asociación y no de causalidad.

Finalmente, para el caso de estudio de Planta Cemento Sogamoso se desarrolló un análisis descriptivo de los indicadores de desempeño en seguridad de contratistas, incluyendo número de lesiones registrables, lesiones incapacitantes y días sin accidentes con tiempo perdido, contrastando los resultados obtenidos con el comportamiento observado en la organización y las tendencias nacionales disponibles.

Se adoptó un coeficiente de relación de Pearson para analizar la variabilidad en la accidentalidad y la relación lineal en el nivel de madurez cultural.

Datos analizados y análisis entre madurez cultural y accidentalidad

Con el fin de evaluar la asociación entre la madurez cultural y el comportamiento de la accidentalidad, se realizó un análisis de correlación de Pearson utilizando los resultados anuales del Self Assessment y el número de accidentes registrados entre 2016 y 2025.

Año	Self Assessment	Accidentes
2016	2,89	391
2017	3,42	319
2018	3,20	241
2019	3,45	226
2020	3,70	179
2021	4,00	182
2022	4,00	178
2023	4,10	189
2024	3,60	115
2025	4,30	81

Tabla 1. Datos analizados en correlación de Pearson

Resultado

Coeficiente de correlación de Pearson r = -0,93

Coeficiente de determinación R^2 = 0,87

Interpretación

De acuerdo con criterios estadísticos comúnmente aceptados:

Valor de r	Interpretación
0,00–0,19	Muy débil
0,20–0,39	Débil
0,40–0,59	Moderada
0,60–0,79	Fuerte
0,80–1,00	Muy fuerte

El valor obtenido (r = -0,93) indica una correlación negativa muy fuerte entre el nivel de madurez cultural y el número de accidentes.

A medida que aumentó el nivel de madurez cultural medido mediante Self Assessment, el número de accidentes registrados disminuyó de forma consistente durante el período 2016–2025.

El valor R^2 = 0,87 sugiere que aproximadamente el 87% de la variabilidad observada en la accidentalidad puede explicarse estadísticamente por la relación lineal con el nivel de madurez cultural. No obstante, debido al diseño observacional del estudio, esta relación debe interpretarse como una asociación estadística y no como evidencia de causalidad.

Consideraciones metodológicas y limitaciones

Los resultados presentados corresponden a un estudio observacional retrospectivo basado en registros históricos de desempeño organizacional. En consecuencia, los hallazgos permiten identificar asociaciones entre la implementación del modelo de cultura y gobernanza de la seguridad y la evolución de los indicadores de accidentalidad.

Adicionalmente, los resultados pueden estar influenciados por otros factores organizacionales o externos desarrollados simultáneamente durante el período de estudio, tales como cambios regulatorios, mejoras tecnológicas, fortalecimiento de controles operacionales o variaciones en los niveles de actividad productiva. Por tanto, los resultados deben interpretarse dentro del contexto específico del sector cemento y concreto y de las condiciones operacionales de la organización estudiada.

3. Resultados y discusión de resultados

Resultados longitudinales a nivel organizacional

Análisis longitudinal de indicadores entre 2016 y 2025

Durante el período 2016–2025 se observó una reducción sostenida de los indicadores de accidentalidad en las diferentes geografías donde opera la organización. El índice de lesiones totales, incluyendo primeros auxilios, mostró una tendencia descendente durante los diez años analizados, alcanzando un valor de 4,4 lesiones por millón de horas trabajadas en 2025, lo que representa una reducción acumulada del 64,2% respecto al año base (Gráfico 1).

La tendencia observada fue consistente con la implementación progresiva de distintas iniciativas de cultura y liderazgo en seguridad, incluyendo programas de observación preventiva, fortalecimiento de comportamientos seguros, análisis de eventos, aprendizaje organizacional y consolidación de estructuras de gobernanza. No obstante, dada la naturaleza observacional del estudio, estos resultados deben interpretarse como una asociación temporal y no como evidencia de causalidad directa.



Gráfico 1. Índice de lesiones totales incluyendo primeros auxilios para Argos Colombia, Argos USA, Centroamérica y Caribe.

Revisión de la madurez de Cultura en Colombia

En la Regional Colombia se observó un incremento progresivo en el nivel de madurez cultural medido mediante la herramienta Self Assessment, pasando de 2,89 en 2016 a 4,30 en 2025, sobre una escala máxima de 5 puntos. Paralelamente, el número total de eventos registrados disminuyó de 391 a 81 casos durante el mismo período, equivalente a una reducción acumulada del 79,3% (Gráfico 2).

El comportamiento inverso entre ambas variables sugiere una asociación entre el fortalecimiento de la cultura de seguridad y la mejora de los indicadores de accidentalidad. Adicionalmente, el nivel de madurez alcanzado en 2025 es consistente con los niveles de desempeño asociados a culturas de seguridad de tipo independiente descritas en modelos de referencia como la Curva de Bradley.



Gráfico 2. Índice de lesiones totales vs Curva de evolución de Cultura Argos Colombia.

Gestión de contratistas y desempeño preventivo

Los resultados obtenidos en la población contratista evidenciaron mejoras sostenidas durante el período analizado. El número de lesiones registradas en contratistas de la Regional Colombia disminuyó de 191 casos en 2016 a 23 casos en 2025, representando una reducción acumulada del 87,9% (Gráfico 3).

Durante este periodo se fortaleció la estructura de gobernanza para contratistas mediante el comité estratégico, táctico y operativo de contratistas, a través de mecanismos de reuniones de seguimiento acompañados por auditorías, programas de formación, observaciones de comportamiento e indicadores específicos de desempeño preventivo. La mejora consistente de los indicadores observada durante el período de estudio coincide con la consolidación de dichos mecanismos de gestión.



Gráfico 3. Índice de lesiones totales en contratista en Colombia (todas las operaciones).

Caso aplicado: Planta Cemento Sogamoso

La Planta Cemento Sogamoso presentó los resultados más destacados dentro de la población analizada. En términos de lesiones incapacitantes con tiempo perdido, no se registraron eventos en personal contratista durante los últimos nueve años evaluados (Gráfico 4).

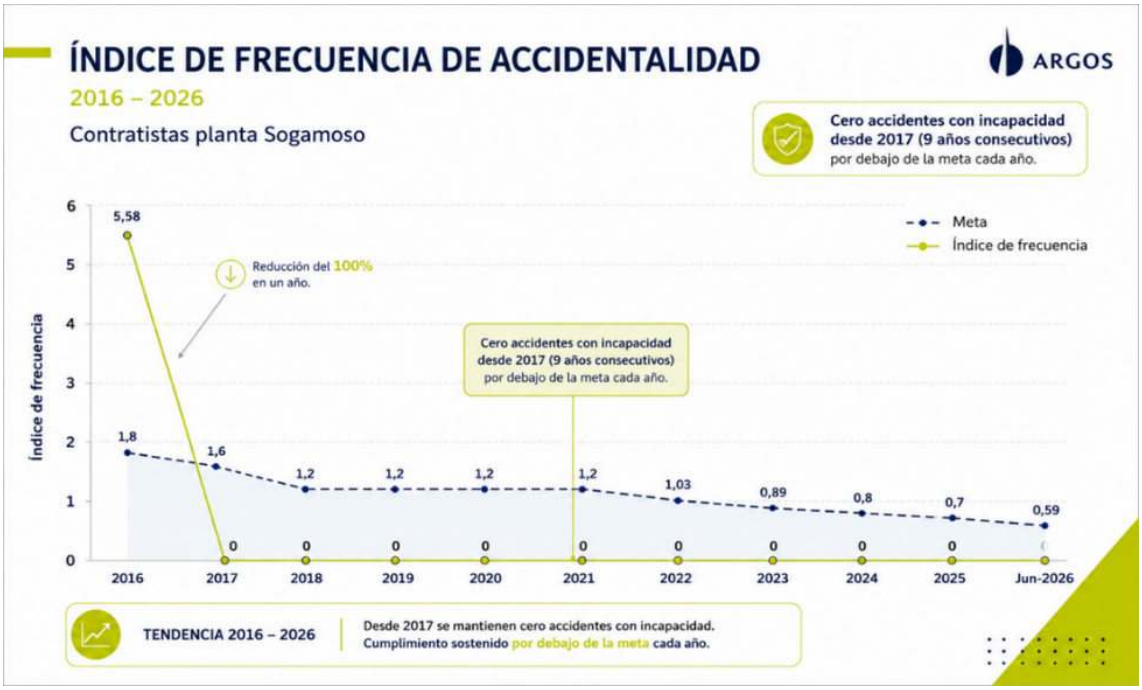


Gráfico 4. Índice de lesiones totales en contratista en Planta Sogamoso.

De manera complementaria, el índice de lesiones totales disminuyó de 11 casos registrados en 2016 a cero casos en 2025, alcanzando una reducción acumulada del 100% (Gráfico 5). Estos resultados permitieron acumular más de 3.500 días sin lesiones incapacitantes en personal de empresas contratistas durante el periodo de estudio.

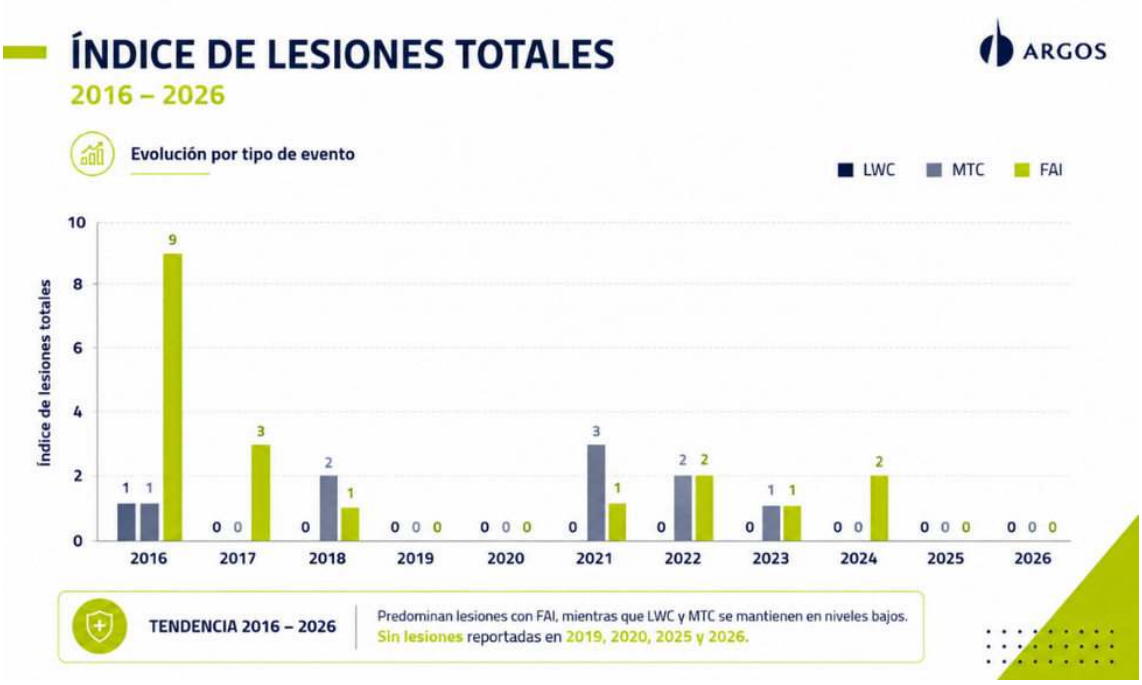


Gráfico 5. Índice de lesiones totales en contratista en Planta Sogamoso.

Análisis de asociación entre madurez cultural y accidentalidad

Los resultados evidenciaron una correlación negativa muy fuerte entre ambas variables (r = -0,93), indicando que los incrementos en el nivel de madurez cultural se asociaron con reducciones sostenidas en el número de accidentes registrados. Asimismo, el coeficiente de determinación (R^2 = 0,87) mostró que el 87% de la variabilidad observada en la accidentalidad presentó asociación lineal con la evolución del nivel de cultura de seguridad.

Estos hallazgos respaldan la existencia de una asociación consistente entre el fortalecimiento de los procesos culturales y la mejora del desempeño en seguridad y salud en el trabajo durante el período evaluado,

Validación mediante reconocimiento institucional a la innovación en SST

Durante 2025, el programa de fortalecimiento de contratistas implementado en Planta Sogamoso recibió reconocimiento por parte de la Administradora de Riesgos Laborales ARL SURA en la categoría Talento Humano, Liderazgo y Cultura. Aunque este reconocimiento no constituye una medida de efectividad científica, representa una validación externa de las prácticas organizacionales desarrolladas y de la sostenibilidad de los resultados obtenidos.

Discusión sobre resultados

Los resultados del análisis de correlación mostraron una asociación negativa muy fuerte entre la madurez cultural y la accidentalidad (r = -0,93), sugiriendo que los avances observados en la implementación del modelo Yo Prometo coincidieron con reducciones progresivas de los eventos de seguridad. Este comportamiento es consistente con la literatura internacional sobre cultura de seguridad, que reconoce el liderazgo visible, la disciplina operativa y la participación de los trabajadores como elementos esenciales en las mejoras en el desempeño preventivo.

Debido al carácter observacional y retrospectivo del estudio, los resultados deben interpretarse como evidencia de asociación y no como una relación causal directa, dado que otros factores organizacionales y operacionales también pudieron contribuir a la reducción observada de la accidentalidad.

4. Conclusiones

El presente estudio permitió analizar la evolución de los indicadores de accidentalidad laboral en el sector cemento y concreto durante el período 2016–2025, así como describir los resultados asociados a la implementación de un modelo integrado de cultura y gobernanza de la seguridad orientado a trabajadores directos y contratistas.

Se observó una correlación negativa muy fuerte entre el nivel de madurez cultural y el número de accidentes registrados ($r = -0,93$; $R^2 = 0,87$), lo que sugiere que el fortalecimiento de la cultura de seguridad estuvo asociado con mejoras sostenidas en el desempeño preventivo durante el período estudiado.

Los resultados evidenciaron una disminución progresiva de la accidentalidad en los diferentes niveles de análisis considerados. A nivel organizacional se observó una reducción del 64,2% en el índice de lesiones totales; en la Regional Colombia el número de accidentes disminuyó en un 79,3%, mientras que en la población contratista la reducción alcanzó el 87,9%. En la Planta Cemento Sogamoso se registró una disminución del 100% en las lesiones incapacitantes reportadas para contratistas entre 2016 y 2025.

Paralelamente, el nivel de madurez cultural evolucionó de 2,89 a 4,30 puntos durante el período de estudio, observándose una relación inversa entre la evolución de la cultura de seguridad y el comportamiento de la accidentalidad. Estos hallazgos sugieren una asociación positiva entre los procesos de fortalecimiento cultural y la mejora sostenida de los indicadores de desempeño en seguridad. Tabla 1.

Variable	2016	2025	Variación
Accidentes Argos Colombia	391	81	-79,3%
Accidentes Contratistas	191	23	-87,9%
Nivel Cultura Self Assessment	2,89	4,30	+48,8%
Contratistas Planta Sogamoso	11	0	-100%

Tabla 1. Relación de reducción de accidentalidad e incremento en la cultura de seguridad Yo Prometo.

Los resultados también resaltan la importancia de integrar a las empresas contratistas dentro de los sistemas de gestión de seguridad mediante mecanismos formales de liderazgo, gobernanza, seguimiento y aprendizaje organizacional. La experiencia documentada muestra que la gestión estructurada de contratistas puede contribuir de manera relevante al mejoramiento del desempeño preventivo en industrias con alta exposición a riesgos operacionales

Debido al carácter observacional y retrospectivo de la investigación, los resultados deben interpretarse como evidencia de asociación y no de causalidad directa. Futuras investigaciones podrían incorporar metodologías analíticas de mayor complejidad que permitan evaluar con mayor precisión la contribución específica de las variables culturales y organizacionales sobre la reducción de la accidentalidad laboral

Finalmente, el caso analizado constituye una experiencia de referencia para organizaciones industriales con alta participación de personal contratista, aportando evidencia práctica sobre la aplicación de modelos de cultura y gobernanza de la seguridad como herramientas para el fortalecimiento del desempeño preventivo y la sostenibilidad de los resultados en seguridad y salud en el trabajo.

Bibliografía

Estadísticas nacionales de accidentalidad

Consejo Colombiano de Seguridad. (2025). Informe de siniestralidad laboral en Colombia 2024. Observatorio de Seguridad y Salud en el Trabajo. Consejo Colombiano de Seguridad.

Sistema General de Riesgos Laborales

Ministerio del Trabajo. (2025). Sistema General de Riesgos Laborales: Estadísticas de afiliación, accidentalidad y enfermedad laboral 2024. Ministerio del Trabajo de Colombia.

Marco normativo SG-SST

Ministerio del Trabajo. (2015). Decreto 1072 de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo. Diario Oficial de la República de Colombia.

Cultura de seguridad

Bradley, J. (1995). The Bradley Curve™: Safety culture and accident prevention. DuPont Sustainable Solutions.

Gestión de contratistas

European Agency for Safety and Health at Work (EU-OSHA). (2022). Management of occupational safety and health in contractor and subcontractor arrangements. Publications Office of the European Union.

Liderazgo y cultura preventiva

International Labour Organization. (2024). Safety and health at work: Building a preventive safety and health culture. ILO Publications.

Información corporativa utilizada en el estudio

Cementos Argos. (2026). Reporte integrado 2025. Cementos Argos S.A.

Cementos Argos. (2026). Indicadores de salud y seguridad 2025. Dirección de Seguridad y Salud en el Trabajo, Cementos Argos S.A.

Modelo integrado de salud ocupacional basado en fenotipos clínicos y en la estratificación multidisciplinaria del riesgo: evidencia de una cohorte ocupacional colombiana

Integrated Occupational Health Model Based on Clinical Phenotypes and Multidisciplinary Risk Stratification: Evidence from a Colombian Occupational Cohort

Silvia Eugenia Solano Álvarez*; Unice Margarita Noguera; Paula Andrea Luna; Andrés Carvajal; Jhony Rozo Vargas; Ángela Tatiana Bernal; Diego Andrés Parga Marín*

Quirón Prevención Colombia, Bogotá, Colombia

Correspondencia: silviaeugenia.solano@quironprevencion.com; diegoandres.parga@quironprevencion.com

Abstract

Introducción: Los exámenes médico-ocupacionales se utilizan tradicionalmente para determinar la aptitud laboral; sin embargo, la información obtenida durante estas evaluaciones podría emplearse para identificar fenotipos clínicos y estratificar el riesgo de la población trabajadora. El objetivo de este estudio fue identificar dominios clínicos en una cohorte ocupacional colombiana, analizar su relevancia epidemiológica y proponer un modelo integrado de salud ocupacional basado en fenotipos clínicos y estratificación multidisciplinaria del riesgo.

Métodos: Se realizó un estudio observacional compuesto por un análisis retrospectivo y descriptivo de una cohorte de 553 trabajadores administrativos evaluados mediante exámenes médico-ocupacionales durante 2025 y un subestudio transversal de 113 trabajadores para identificar factores asociados con hipertensión arterial. Los hallazgos clínicos fueron agrupados en cuatro dominios (visual, cardiometabólico, auditivo y osteomuscular). Se compararon las prevalencias con referencias epidemiológicas colombianas y se calcularon Odds Ratios (OR), Riesgos Relativos (RR), intervalos de confianza del 95 % y valores de p para el subanálisis cardiovascular.

Resultados: El dominio visual presentó la mayor prevalencia (48,0 %), seguido del cardiometabólico (28,5 %), auditivo (7,1 %) y osteomuscular (6,4 %). La comparación con referentes nacionales mostró un perfil epidemiológico consistente con la población trabajadora y compatible con el efecto del trabajador sano. En el subanálisis cardiovascular, la edad (RR=2,11; IC95%:1,20–3,71), el antecedente personal de hipertensión arterial (RR=3,34; IC95%:1,27–8,77), la dislipidemia (RR=2,42; IC95%:1,03–5,67) y el consumo de alcohol (RR=2,33; IC95%:1,10–4,91) se asociaron significativamente con la presencia de hipertensión arterial.

Conclusiones: Los hallazgos obtenidos durante los exámenes médico-ocupacionales pueden organizarse en dominios clínicos con utilidad epidemiológica y asistencial. La integración de la caracterización de la cohorte, la comparación epidemiológica y el análisis de riesgo cardiovascular sustenta un modelo integrado de salud ocupacional basado en fenotipos clínicos y estratificación multidisciplinaria del riesgo, con potencial para fortalecer la vigilancia de la salud de los trabajadores y orientar intervenciones preventivas.

Abstract en inglés

Background: Occupational medical examinations are traditionally performed to determine fitness for work. However, the clinical information obtained during these assessments may also be used to identify clinical phenotypes and support risk stratification among workers. This study aimed to identify clinical domains in a Colombian occupational cohort, evaluate their epidemiological relevance, and propose an integrated occupational health model based on clinical phenotypes and multidisciplinary risk stratification.

Methods: An observational study was conducted, comprising a retrospective descriptive analysis of a cohort of 553 administrative workers who underwent pre-employment and periodic occupational medical examinations in 2025, together with a cross-sectional sub-analysis of 113 workers to identify factors associated with hypertension. Clinical findings were grouped into four domains (visual, cardiometabolic, auditory, and musculoskeletal). Domain prevalence was compared with Colombian epidemiological references. Odds ratios (ORs), relative risks (RRs), 95% confidence intervals (95% CIs), and p values were calculated for the cardiovascular sub-analysis.

Results: The visual domain showed the highest prevalence (48.0%), followed by the cardiometabolic (28.5%), auditory (7.1%), and musculoskeletal (6.4%) domains. Comparison with national epidemiological data revealed an occupational health profile consistent with the healthy worker effect. In the cardiovascular sub-analysis, age (RR=2.11; 95% CI:1.20–3.71), previous hypertension (RR=3.34; 95% CI:1.27–8.77), dyslipidemia (RR=2.42; 95% CI:1.03–5.67), and alcohol consumption (RR=2.33; 95% CI:1.10–4.91) were significantly associated with hypertension.

Conclusions: Findings obtained during occupational medical examinations can be organized into clinically meaningful domains with epidemiological and healthcare relevance. Integrating occupational cohort characterization, epidemiological comparison, and cardiovascular risk analysis supports an integrated occupational health model based on clinical phenotypes and multidisciplinary risk stratification, potentially improving occupational health surveillance and targeted preventive interventions.

Palabras Clave

Medicina del trabajo; Salud ocupacional; Fenotipos clínicos; Estratificación del riesgo; Hipertensión arterial; Vigilancia de la salud. Occupational Medicine; Occupational Health; Clinical Phenotypes; Risk Stratification; Hypertension; Health Surveillance.

1. Introducción

La medicina del trabajo ha experimentado una transformación progresiva durante las últimas décadas, ampliando su alcance desde la prevención de enfermedades profesionales hacia un enfoque integral de promoción, protección y mantenimiento de la salud de la población trabajadora (1–4). En la actualidad, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Internacional del Trabajo (OIT) promueven modelos de atención capaces de integrar la vigilancia de la salud de los trabajadores con la prevención de enfermedades crónicas, el fortalecimiento de los servicios de salud ocupacional y la coordinación con otras disciplinas clínicas (1–6).

A pesar de esta evolución conceptual, en numerosos servicios de medicina del trabajo el examen médico ocupacional continúa utilizándose principalmente como un mecanismo para identificar hallazgos clínicos individuales y emitir un concepto de aptitud laboral (5–8). Si bien esta función resulta indispensable desde el punto de vista preventivo y legal, con frecuencia

limita el aprovechamiento del examen ocupacional como una herramienta para la estratificación clínica del riesgo y la implementación de intervenciones preventivas dirigidas (5,7,8). Bajo este paradigma, los diagnósticos detectados suelen interpretarse como eventos independientes, sin analizar las posibles relaciones fisiopatológicas existentes entre ellos.

Paralelamente, la transición epidemiológica observada en la población trabajadora ha incrementado la carga de enfermedades crónicas no transmisibles. La hipertensión arterial, la obesidad, las alteraciones metabólicas, los trastornos visuales y las enfermedades musculoesqueléticas representan actualmente una proporción importante de la morbilidad en trabajadores activos, generando repercusiones sobre la productividad, el ausentismo laboral y la calidad de vida (9–14). La OMS reconoce que la prevención y el control de estas enfermedades requieren estrategias integradas de detección precoz, vigilancia y seguimiento continuo, siendo el lugar de trabajo un escenario privilegiado para su identificación temprana (1,2,9).

En este contexto surge la necesidad de replantear el papel del examen médico ocupacional. Más allá de determinar la aptitud para el desempeño laboral, la información obtenida durante estas evaluaciones podría utilizarse para identificar fenotipos clínicos, entendidos como agrupaciones de condiciones de salud que comparten características epidemiológicas, fisiopatológicas y pronósticas, y que permiten organizar estrategias diferenciadas de vigilancia e intervención (15–18). Este enfoque traslada el análisis desde diagnósticos aislados hacia dominios clínicos con potencial utilidad para la gestión integral del riesgo.

La medicina basada en riesgo ha demostrado que la combinación de múltiples variables clínicas mejora la identificación de individuos susceptibles de desarrollar desenlaces adversos y facilita la priorización de intervenciones preventivas (19–22). Sin embargo, este enfoque ha sido poco explorado en medicina del trabajo, donde la mayor parte de la evidencia continúa centrándose en enfermedades específicas o exposiciones ocupacionales particulares, con escasa integración entre los hallazgos derivados de la vigilancia médica y las rutas clínicas especializadas (6,7,15,18).

Bajo esta perspectiva, la presente investigación parte de la hipótesis de que los hallazgos identificados durante los exámenes médico-ocupacionales no se distribuyen aleatoriamente, sino que tienden a agruparse en dominios clínicos identificables. Asimismo, plantea que la integración de tres fuentes complementarias de evidencia —la caracterización de una cohorte ocupacional, la comparación con referentes epidemiológicos nacionales y un subanálisis analítico de riesgo cardiovascular— proporciona fundamentos para proponer un modelo ampliado de medicina del trabajo basado en la estratificación del riesgo y la integración multidisciplinaria. Esta aproximación representa un cambio conceptual, en el cual el examen ocupacional deja de constituir un evento aislado para convertirse en el punto de partida de rutas clínicas orientadas a la prevención secundaria y al manejo integral de la salud de los trabajadores. Esta propuesta se fundamenta en la secuencia lógica desarrollada a partir de la cohorte ocupacional, la evidencia epidemiológica y el análisis de riesgo, descrita en el modelo conceptual del estudio.

En consecuencia, el objetivo de este estudio fue identificar la existencia de dominios clínicos en una cohorte de trabajadores colombianos evaluados mediante exámenes médico-ocupacionales, analizar su relevancia epidemiológica y explorar la utilidad de estos hallazgos para sustentar un modelo integrado de salud ocupacional basado en fenotipos clínicos y estratificación multidisciplinaria del riesgo.

2. Metodología

Diseño del estudio

Se realizó un estudio observacional compuesto por dos componentes complementarios. El primero correspondió a un análisis retrospectivo y descriptivo de una cohorte de trabajadores evaluados mediante exámenes médico-ocupacionales durante 2025. El segundo consistió en un subestudio transversal orientado a identificar factores asociados con la presencia de hipertensión arterial en una muestra de trabajadores con información cardiovascular disponible (23,24).

La integración de ambos componentes permitió combinar una aproximación descriptiva de la carga clínica observada en la población trabajadora con un análisis específico de factores asociados al riesgo cardiometabólico. Este diseño se utilizó como base para formular un modelo ampliado de salud ocupacional basado en la identificación de fenotipos clínicos, la estratificación del riesgo y la articulación multidisciplinaria.

Ámbito y población de estudio

La cohorte estuvo conformada por 553 trabajadores administrativos de Quirón Prevención Colombia, evaluados durante el año 2025 mediante exámenes médico-ocupacionales de ingreso y periódicos, realizados conforme a los protocolos institucionales vigentes como parte del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (25).

Con el propósito de profundizar en el análisis del dominio cardiometabólico, se realizó un subestudio transversal en una muestra de 113 trabajadores que contaban con información clínica completa para la evaluación del riesgo cardiovascular.

La información fue analizada de forma agregada y anonimizada. En ningún momento se utilizaron nombres, números de identificación u otras variables que permitieran la identificación individual de los trabajadores.

Criterios de inclusión

Se incluyeron trabajadores que cumplieran los siguientes criterios:

• Ser trabajador administrativo de Quirón Prevención Colombia. • Haber sido sometido a un examen médico ocupacional de ingreso o periódico durante

el año 2025. • Contar con una historia clínica ocupacional diligenciada conforme a los protocolos

institucionales. • Disponer de información suficiente para la clasificación de los hallazgos clínicos

dentro de alguno de los dominios definidos en el estudio.

Para el subestudio cardiovascular, adicionalmente se requirió:

• Disponibilidad de información sobre presión arterial. • Registro de las variables clínicas y antecedentes incluidos en el análisis.

Criterios de exclusión

Se excluyeron:

• Registros duplicados correspondientes al mismo examen ocupacional. • Historias clínicas con información incompleta que impidiera la clasificación de los

hallazgos clínicos.

• Trabajadores pertenecientes a áreas diferentes al personal administrativo. • Registros con inconsistencias que limitaran el análisis estadístico.

Fuentes de información

La información de la cohorte principal procedió de los registros generados durante los exámenes médico-ocupacionales realizados en 2025. Se consideraron los diagnósticos y hallazgos clínicos consignados durante las evaluaciones, los cuales fueron posteriormente agrupados en dominios clínicos.

El subanálisis cardiovascular utilizó la información disponible de la evaluación de riesgo cardiovascular de 113 trabajadores. Se analizaron variables relacionadas con la presencia de hipertensión arterial, antecedentes personales y familiares, características demográficas y factores conductuales.

Como fuente complementaria, las prevalencias observadas en la cohorte fueron contrastadas con referencias epidemiológicas colombianas relacionadas con salud visual, hipertensión arterial, alteraciones auditivas y trastornos osteomusculares (28–31).

Definición y construcción de los dominios clínicos

Los diagnósticos y hallazgos identificados en la cohorte fueron agrupados en cuatro dominios clínicos definidos según su afinidad clínica y fisiopatológica (32–34).

Dominio cardiometabólico

Incluyó:

• aumento anormal de peso; • obesidad; • hipertensión arterial.

Dominio visual

Incluyó:

• trastornos de refracción; • alteraciones visuales; • astigmatismo; • miopía.

Dominio auditivo

Incluyó:

• hipoacusia; • alteraciones o percepciones auditivas anormales.

Dominio osteomuscular

Incluyó:

• escoliosis; • lumbalgia; • dolor articular; • dolor en miembros; • trastornos de los discos intervertebrales.

La prevalencia de cada dominio se calculó como la proporción de trabajadores que presentaban al menos un diagnóstico o hallazgo incluido dentro de la categoría correspondiente. La agrupación por dominios permitió interpretar los resultados como patrones clínicos agregados, en lugar de analizar cada diagnóstico de manera independiente.

Comparación con referencias epidemiológicas colombianas

Las prevalencias obtenidas en la cohorte ocupacional fueron comparadas de manera descriptiva con referencias nacionales relacionadas con (28–31,35):

• exceso de peso e hipertensión arterial; • trastornos refractivos y carga de enfermedad visual; • alteraciones auditivas; • lumbalgia y otros trastornos osteomusculares de interés ocupacional.

La comparación tuvo un propósito contextual y no correspondió a una comparación estadística directa o estandarizada. Las poblaciones de referencia y la cohorte ocupacional diferían potencialmente en edad, sexo, actividad económica, criterios diagnósticos y métodos de recolección de la información.

Por esta razón, los resultados fueron interpretados como una aproximación epidemiológica destinada a identificar similitudes, diferencias y posibles efectos de selección, incluido el denominado efecto del trabajador sano (14).

Variables del subestudio cardiovascular

La variable de desenlace fue la presencia de hipertensión arterial.

Para su identificación se empleó una definición operacional basada en la combinación de (36,37):

• antecedente personal conocido de hipertensión arterial; • diagnóstico clínico registrado durante la evaluación ocupacional;

• cifras de presión arterial compatibles con hipertensión durante la valoración médico-

ocupacional, de acuerdo con los criterios clínicos institucionales.

Las variables independientes evaluadas fueron:

• rango de edad; • sexo; • antecedente familiar de dislipidemia; • antecedente personal de hipertensión arterial; • presencia de dislipidemia;

consumo de alcohol.

Para cada variable se estimaron medidas de asociación respecto de la presencia de hipertensión arterial.

Análisis estadístico

El análisis descriptivo de la cohorte se realizó mediante frecuencias absolutas y relativas para las variables categóricas.

Para el subestudio cardiovascular se calcularon Odds Ratios (OR) y Riesgos Relativos (RR) con sus respectivos intervalos de confianza del 95 % (IC95 %), con el fin de estimar la asociación entre las variables clínicas evaluadas y la presencia de hipertensión arterial.

Se consideró estadísticamente significativa una diferencia cuando el valor de p fue inferior a 0,05.

Las asociaciones fueron interpretadas teniendo en cuenta el carácter transversal del subestudio; por tanto, no fueron consideradas pruebas de causalidad, sino estimaciones de asociación entre las variables analizadas (38,39).

El procesamiento y análisis estadístico se realizó utilizando Stata® (StataCorp LLC, College Station, Texas, Estados Unidos).

Integración progresiva de la evidencia

La interpretación del estudio se desarrolló mediante una secuencia progresiva de integración:

1. Identificación de las limitaciones del modelo tradicional centrado exclusivamente en la aptitud laboral. 2. Agrupación de los diagnósticos en dominios clínicos. 3. Comparación con referentes epidemiológicos colombianos. 4. Identificación de factores asociados al riesgo cardiovascular. 5. Convergencia entre la carga clínica y el riesgo analítico.

6. Traducción de los hallazgos hacia rutas clínicas multidisciplinarias. 7. Formulación de un modelo integrado de salud ocupacional basado en fenotipos clínicos y estratificación multidisciplinaria del riesgo.

Esta estrategia permitió evolucionar desde la descripción de los hallazgos clínicos hacia una propuesta conceptual de reorganización del proceso asistencial en salud ocupacional.

Consideraciones éticas

El estudio utilizó información secundaria derivada de evaluaciones médico-ocupacionales previamente realizadas. Todos los registros fueron analizados de manera agregada y anonimizada, garantizando la confidencialidad de la información y la imposibilidad de identificar individualmente a los trabajadores (26,27,40).

3. Resultados y discusión de resultados

Distribución de los dominios clínicos en la cohorte ocupacional

La cohorte estuvo conformada por 553 trabajadores administrativos de Quirón Prevención Colombia, evaluados mediante exámenes médico-ocupacionales de ingreso y periódicos durante el año 2025.

El análisis de los hallazgos clínicos evidenció que estos no se distribuyeron de forma aleatoria, sino que presentaron una clara tendencia a concentrarse en cuatro dominios clínicos principales. El dominio visual representó la mayor carga de enfermedad, seguido del dominio cardiometabólico, mientras que los dominios auditivo y osteomuscular presentaron menores frecuencias relativas (Tabla 1).

Este comportamiento sugiere que la información generada durante los exámenes ocupacionales puede organizarse en patrones clínicos reconocibles, permitiendo superar la interpretación tradicional basada exclusivamente en diagnósticos individuales.

Tabla 1. Distribución de los dominios clínicos identificados en la cohorte ocupacional 2025

Tabla 1. Distribución de los dominios clínicos identificados en la cohorte ocupacional 2025 (n = 553).

Dominio clínico	Diagnósticos incluidos	Prevalencia (%)	Interpretación estratégica
Visual	Trastornos de refracción, alteraciones visuales, astigmatismo y miopía	48,0	Principal carga clínica de la cohorte
Cardiometabólico	Aumento anormal de peso, obesidad e hipertensión arterial	28,5	Carga agregada clínicamente relevante
Auditivo	Hipoacusia y alteraciones auditivas	7,1	Relevante para programas de vigilancia
Osteomuscular	Lumbalgia, escoliosis, dolor articular, dolor en miembros y trastornos discales	6,4	Posible efecto del trabajador sano o subregistro

Nota. Los porcentajes pueden no sumar 100% debido a la presencia de múltiples diagnósticos por trabajador.

Autoría propia 2026

La predominancia de los dominios visual y cardiometabólico indica que la mayor parte de la carga clínica identificada durante la vigilancia médica ocupacional se concentra en condiciones potencialmente modificables mediante estrategias de detección temprana, intervención clínica y seguimiento longitudinal. Esta distribución respalda la hipótesis de que los hallazgos derivados del examen ocupacional pueden interpretarse como fenotipos clínicos, en lugar de considerarse únicamente diagnósticos aislados.

Composición interna de los dominios clínicos

Con el propósito de comprender la estructura de cada dominio, los diagnósticos fueron agrupados de acuerdo con su afinidad clínica y fisiopatológica.

El dominio visual estuvo conformado principalmente por trastornos de refracción, alteraciones visuales, astigmatismo y miopía, consolidándose como el grupo diagnóstico de mayor frecuencia dentro de la cohorte. El dominio cardiometabólico reunió diagnósticos relacionados con el exceso de peso y la hipertensión arterial, mientras que el dominio auditivo integró la hipoacusia y otras alteraciones funcionales de la audición. Finalmente, el dominio osteomuscular agrupó los trastornos vertebrales y osteoarticulares más frecuentemente identificados durante la evaluación ocupacional.

Tabla 2. Composición de los dominios clínicos identificados en la cohorte

Tabla 1. Distribución de los dominios clínicos identificados en la cohorte ocupacional 2025 (n = 553).

Dominio clínico	Diagnósticos incluidos	Prevalencia (%)	Interpretación estratégica
Visual	Trastornos de refracción, alteraciones visuales, astigmatismo y miopía	48,0	Principal carga clínica de la cohorte
Cardiometabólico	Aumento anormal de peso, obesidad e hipertensión arterial	28,5	Carga agregada clínicamente relevante
Auditivo	Hipoacusia y alteraciones auditivas	7,1	Relevante para programas de vigilancia
Osteomuscular	Lumbalgia, escoliosis, dolor articular, dolor en miembros y trastornos discales	6,4	Posible efecto del trabajador sano o subregistro

Nota. Los porcentajes pueden no sumar 100% debido a la presencia de múltiples diagnósticos por trabajador.

Autoría propia 2026

La agrupación por dominios permitió reconocer que múltiples diagnósticos aparentemente independientes corresponden a procesos clínicos comunes. Desde una perspectiva asistencial, este enfoque facilita la construcción de rutas integradas de evaluación y seguimiento, al concentrar los esfuerzos preventivos en categorías clínicas con mayor impacto poblacional, en lugar de abordajes fragmentados centrados en cada diagnóstico por separado.

Interpretación de los hallazgos frente a la epidemiología colombiana

Con el fin de contextualizar la relevancia de los hallazgos observados, las prevalencias obtenidas en la cohorte fueron comparadas con referencias epidemiológicas nacionales.

El dominio visual presentó la mayor carga clínica (48,0 %), resultado consistente con la elevada frecuencia de trastornos refractivos descrita en la población colombiana. Esta observación sugiere que los exámenes médico-ocupacionales constituyen una oportunidad para la identificación temprana de alteraciones visuales susceptibles de corrección mediante valoración por optometría u oftalmología.

En el dominio cardiometabólico se observó una prevalencia agregada del 28,5 %. Aunque esta frecuencia fue inferior a algunas estimaciones nacionales de exceso de peso o hipertensión consideradas de manera independiente, la carga clínica continuó siendo relevante al analizar conjuntamente los componentes del dominio. Esta diferencia puede

explicarse, al menos parcialmente, por el denominado efecto del trabajador sano (14), según el cual la población laboral suele presentar mejores indicadores de salud que la población general (31).

Por su parte, los dominios auditivo (41,42) (7,1 %) y osteomuscular (6,4 %) mostraron frecuencias inferiores a las reportadas en algunos estudios nacionales. Sin embargo, estos resultados deben interpretarse con cautela, dado que pueden estar influenciados por diferencias en las poblaciones evaluadas, criterios diagnósticos, características del trabajo administrativo y posibles fenómenos de subregistro.

En conjunto, esta comparación confirma que la cohorte analizada presenta un perfil epidemiológico propio, pero suficientemente consistente con la realidad nacional como para considerar que los dominios identificados representan áreas prioritarias para la vigilancia de la salud ocupacional.

Subanálisis de riesgo cardiovascular: evidencia de riesgo dentro del dominio cardiometabólico

Con el propósito de determinar si los dominios clínicos identificados representaban únicamente una agrupación descriptiva de diagnósticos o si, por el contrario, contenían información útil para la estratificación del riesgo, se realizó un subanálisis transversal en una muestra de 113 trabajadores con información cardiovascular disponible.

El análisis evidenció que el dominio cardiometabólico no solo concentraba una proporción importante de la carga clínica de la cohorte, sino que además albergaba factores asociados de manera significativa con la presencia de hipertensión arterial.

La edad mostró una asociación estadísticamente significativa tanto en el análisis mediante Odds Ratio (OR=2,93; IC95%: 1,29–6,67; p=0,010) como mediante Riesgo Relativo (RR=2,11; IC95%: 1,20–3,71; p=0,009), indicando que los trabajadores de mayor edad presentaban aproximadamente el doble de probabilidad de presentar hipertensión arterial en comparación con los grupos etarios más jóvenes.

El antecedente personal de hipertensión arterial constituyó la variable con mayor magnitud de asociación (OR=7,43; IC95%: 1,10–49,99; p=0,039; RR=3,34; IC95%: 1,27–8,77; p=0,014), confirmando la utilidad clínica de este antecedente para identificar trabajadores con mayor riesgo cardiovascular (36,37) durante la vigilancia ocupacional.

De igual manera, la presencia de dislipidemia mostró una asociación significativa en el análisis mediante Riesgo Relativo (RR=2,42; IC95%: 1,03–5,67; p=0,041), mientras que el consumo de alcohol se asoció con un incremento aproximado de 2,3 veces en el riesgo de hipertensión arterial (RR=2,33; IC95%: 1,10–4,91; p=0,027).

Por el contrario, el sexo y el antecedente familiar de dislipidemia no alcanzaron significancia estadística en la población estudiada, aunque este último mostró una tendencia que podría explorarse en estudios con mayor tamaño muestral.

Tabla 3. Factores asociados con hipertensión arterial en el subanálisis cardiovascular

Tabla 3. Factores asociados con hipertensión arterial en el subanálisis cardiovascular (n = 113).

Variable	OR (IC95%)	*p*	RR (IC95%)	*p*	Interpretación clínica
Rango de edad	2,93 (1,29–6,67)	**0,010**	2,11 (1,20–3,71)	**0,009**	El incremento de la edad aumenta el riesgo de hipertensión arterial
Sexo	0,49 (0,14–1,72)	0,263	0,63 (0,28–1,40)	0,254	Sin asociación significativa
Antecedente familiar de dislipidemia	0,25 (0,05–1,24)	0,089	0,36 (0,11–1,17)	0,089	Tendencia no significativa
Antecedente de hipertensión arterial	7,43 (1,10–49,99)	**0,039**	3,34 (1,27–8,77)	**0,014**	Principal factor asociado
Dislipidemia	3,68 (0,56–24,03)	0,173	2,42 (1,03–5,67)	**0,041**	Asociación significativa mediante RR
Consumo de alcohol	3,75 (1,11–12,64)	**0,033**	2,33 (1,10–4,91)	**0,027**	Incremento significativo del riesgo

Nota. *OR: Odds Ratio; RR: Riesgo Relativo; IC95%: Intervalo de confianza del 95%.*

Autoría propia 2026

Los resultados obtenidos demuestran que el dominio cardiometabólico no constituye únicamente una categoría descriptiva, sino un grupo clínicamente estratificable, dentro del cual es posible identificar trabajadores con diferentes niveles de riesgo cardiovascular. Esta capacidad de estratificación amplía el alcance tradicional del examen médico ocupacional, permitiendo orientar la intensidad del seguimiento clínico y priorizar intervenciones preventivas dirigidas a quienes presentan mayor probabilidad de desarrollar eventos cardiovasculares.

Convergencia entre la carga clínica y el riesgo analítico

La principal contribución de este estudio surge de la integración de dos niveles complementarios de evidencia. En primer lugar, el análisis descriptivo de la cohorte permitió identificar que la carga de enfermedad se concentra en dominios clínicos específicos, particularmente en los ámbitos visual y cardiometabólico. En segundo lugar, el subanálisis cardiovascular demostró que uno de estos dominios contiene factores asociados con riesgo clínico cuantificable.

Esta convergencia permite interpretar que los dominios clínicos identificados durante los exámenes médico-ocupacionales no representan únicamente una forma alternativa de organizar la información, sino que constituyen estructuras con utilidad para la gestión del riesgo. Mientras el análisis descriptivo identifica dónde se concentra la carga de enfermedad,

el análisis analítico permite reconocer qué trabajadores, dentro de esos dominios, presentan mayor probabilidad de desarrollar desenlaces clínicos adversos.

Desde esta perspectiva, el examen médico ocupacional deja de ser un procedimiento orientado exclusivamente a emitir conceptos de aptitud laboral y adquiere un papel estratégico como herramienta de estratificación clínica, priorización de intervenciones y coordinación de rutas asistenciales.

Tabla 4. Integración progresiva de la evidencia y sus implicaciones clínicas

Tabla 4. Convergencia entre niveles de evidencia y sus implicaciones clínicas.

Nivel de evidencia	Hallazgo principal	Implicación clínica
Cohorte ocupacional	Alta carga visual y cardiometabólica	La vigilancia ocupacional identifica áreas prioritarias de intervención
Comparación con la epidemiología nacional	Perfil epidemiológico propio con carga clínicamente relevante	Los resultados requieren interpretación poblacional además de individual
Subanálisis cardiovascular	Edad, hipertensión previa, dislipidemia y consumo de alcohol incrementan el riesgo de hipertensión	Posibilidad de estratificar el riesgo dentro del dominio cardiometabólico
Integración de la evidencia	Los dominios concentran carga clínica y riesgo cuantificable	Fundamenta un modelo integrado de medicina laboral basada en riesgo

Autoría propia 2026

Discusión

La presente investigación aporta evidencia de que los hallazgos obtenidos durante los exámenes médico-ocupacionales trascienden la identificación de diagnósticos aislados y pueden interpretarse como estructuras clínicas organizadas. En conjunto, los resultados respaldan la propuesta de un cambio conceptual en la medicina del trabajo: evolucionar desde un modelo centrado principalmente en la emisión de conceptos de aptitud laboral hacia un modelo orientado a la identificación de fenotipos clínicos, la estratificación del riesgo y la coordinación de intervenciones multidisciplinarias (5–8,43).

Del diagnóstico aislado al reconocimiento de fenotipos clínicos

Tradicionalmente, la medicina del trabajo ha centrado la vigilancia de la salud en la identificación de enfermedades ocupacionales y en la emisión de conceptos de aptitud laboral. Sin embargo, durante la última década ha emergido un cambio conceptual hacia

modelos integrados que consideran de forma simultánea los riesgos ocupacionales, las condiciones crónicas no transmisibles y el bienestar global del trabajador. El enfoque Total Worker Health® (TWH), desarrollado por el National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), constituye uno de los principales referentes internacionales de esta transición al proponer la integración de la protección frente a los riesgos laborales con estrategias de promoción de la salud y prevención de enfermedades crónicas (1–8,43).

En este contexto, los resultados del presente estudio son consistentes con esta evolución conceptual. La identificación de cuatro dominios clínicos principales —visual, cardiometabólico, auditivo y osteomuscular— demuestra que la información generada durante los exámenes médico-ocupacionales puede organizarse en patrones clínicos con significado asistencial, en lugar de interpretarse únicamente como una colección de diagnósticos independientes. Este enfoque favorece una comprensión más integral del estado de salud del trabajador y facilita la priorización de intervenciones preventivas (15–18,43).

La revisión sistemática más reciente sobre la implementación internacional del enfoque Total Worker Health® concluyó que los programas con mejores resultados son aquellos que integran la vigilancia de la salud, el liderazgo organizacional y la participación activa de los trabajadores

dentro de un modelo orientado al bienestar, más que aquellos centrados exclusivamente en el control de riesgos específicos. En este sentido, la propuesta presentada en este estudio comparte la visión integradora del TWH, aunque incorpora un elemento adicional: la utilización de fenotipos clínicos derivados directamente de los exámenes médico-ocupacionales como herramienta para la estratificación del riesgo y la organización de rutas asistenciales (44).

Esta diferencia representa, a nuestro juicio, el principal aporte conceptual de la investigación. Mientras que los modelos internacionales promueven la integración entre seguridad, salud y bienestar, el modelo aquí propuesto añade un nivel clínico de organización basado en la agrupación de hallazgos médico-ocupacionales en dominios con afinidad fisiopatológica. Esta aproximación permite transformar la información obtenida durante la vigilancia ocupacional en un instrumento para la toma de decisiones clínicas y la coordinación multidisciplinaria, ampliando el papel tradicional del especialista en medicina del trabajo.

.

La epidemiología nacional aporta contexto, pero no sustituye la realidad ocupacional

La comparación con estudios epidemiológicos colombianos permitió interpretar los resultados de la cohorte dentro de un contexto poblacional más amplio. El predominio del dominio visual (30) coincide con la elevada frecuencia de trastornos refractivos reportada en Colombia, mientras que la carga cardiometabólica (31) observada conserva relevancia clínica aun cuando algunas patologías individuales presentan prevalencias inferiores a las descritas en la población general.

Estas diferencias probablemente reflejan el denominado efecto del trabajador sano, fenómeno ampliamente descrito en epidemiología ocupacional, según el cual las personas laboralmente activas suelen presentar mejores indicadores generales de salud que la población total (14).

Sin embargo, la menor frecuencia relativa de determinadas enfermedades no implica ausencia de riesgo. Por el contrario, la agrupación de diagnósticos dentro de un mismo dominio evidencia que existe una carga clínica suficiente para justificar estrategias específicas de prevención y seguimiento dentro del ámbito laboral.

El dominio cardiometabólico demuestra que la estratificación del riesgo es posible

El principal aporte analítico del estudio corresponde al subanálisis cardiovascular.

Mientras que el análisis descriptivo permitió identificar la concentración de la carga clínica dentro del dominio cardiometabólico, el análisis mediante Odds Ratio y Riesgo Relativo confirmó que dicho dominio contiene variables capaces de discriminar distintos niveles de riesgo cardiovascular.

La asociación observada para la edad (19–22,36,37), el antecedente de hipertensión arterial, la dislipidemia y el consumo de alcohol demuestra que la vigilancia médico-ocupacional puede evolucionar desde una estrategia uniforme hacia modelos diferenciados según el perfil individual de riesgo.

Este hallazgo resulta especialmente relevante porque demuestra que los dominios clínicos no constituyen únicamente categorías descriptivas, sino estructuras susceptibles de estratificación pronóstica, aspecto ampliamente utilizado en otras especialidades médicas pero escasamente explorado dentro de la medicina del trabajo (45).

Propuesta de un modelo integrado de medicina laboral basada en riesgo

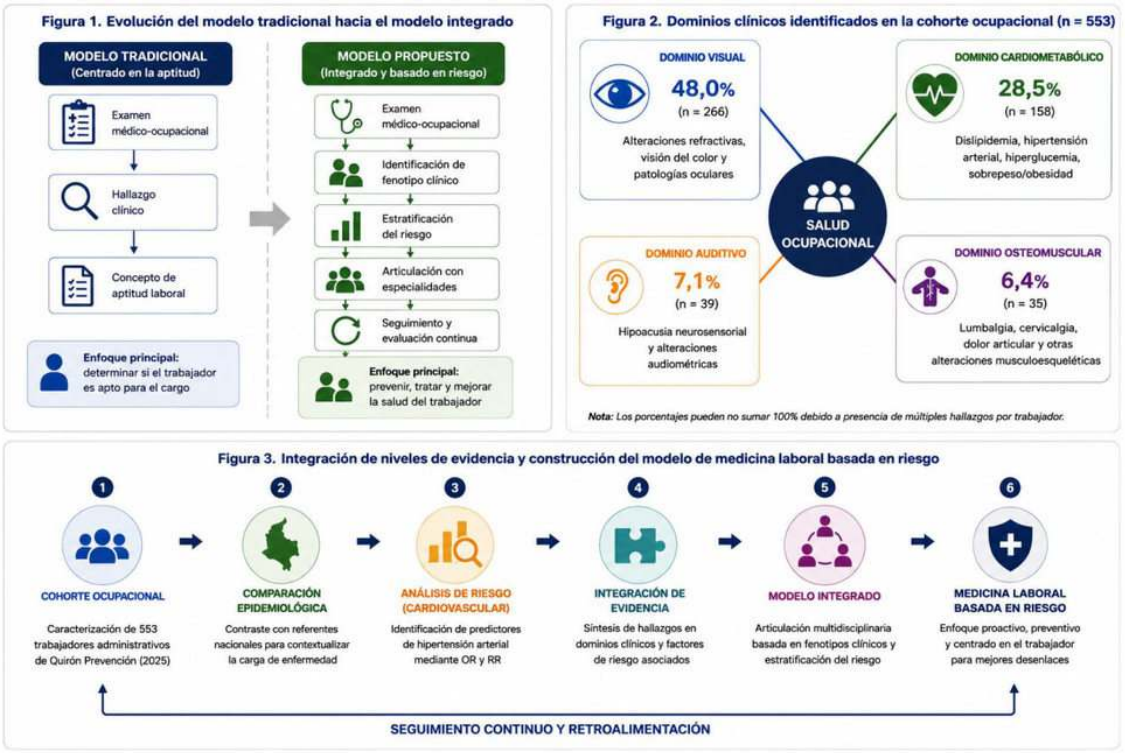
La integración de los resultados permite plantear un modelo conceptual (5–8,43) en el cual la medicina del trabajo actúa como puerta de entrada para la identificación de fenotipos clínicos y la coordinación de rutas asistenciales especializadas.

En este modelo, el examen médico ocupacional constituye el punto inicial del proceso. A partir de los hallazgos identificados, los trabajadores son clasificados dentro de dominios clínicos específicos y posteriormente estratificados según su nivel de riesgo. Esta clasificación permite orientar la remisión hacia las especialidades clínicas más pertinentes, favoreciendo intervenciones preventivas y terapéuticas oportunas.

De esta manera, el médico especialista en medicina del trabajo deja de desempeñar exclusivamente un papel certificador y asume funciones de articulación clínica, coordinando (3,4,7) el acceso a servicios de cardiología, medicina interna, nutrición, oftalmología, optometría, audiología, ortopedia, medicina del deporte y rehabilitación, según las necesidades identificadas en cada trabajador.

La propuesta no pretende reemplazar el concepto de aptitud laboral, sino complementarlo mediante una estrategia de gestión integral del riesgo, en la que la información generada durante la vigilancia médica se convierte en el eje para la planificación de intervenciones preventivas individualizadas.

Figura 1. Modelo integrado de medicina laboral basada en riesgo



Autoría propia 2026

Este modelo sintetiza la secuencia lógica desarrollada a lo largo de la investigación y representa la principal contribución conceptual del estudio.

Implicaciones para la práctica de la medicina del trabajo

La adopción de un enfoque basado en fenotipos clínicos podría modificar la forma en que se organizan los programas de vigilancia epidemiológica (5,6,43) dentro de las organizaciones.

En lugar de desarrollar programas independientes para cada enfermedad, los servicios de salud ocupacional podrían estructurar rutas de atención centradas en dominios clínicos, priorizando aquellos que concentran la mayor carga de enfermedad y el mayor potencial de intervención.

Desde esta perspectiva, los exámenes médico-ocupacionales dejarían de constituir un evento aislado para convertirse en un mecanismo continuo de identificación, estratificación y seguimiento del riesgo clínico.

Adicionalmente, este enfoque facilita la integración entre la medicina del trabajo y otras especialidades clínicas, favoreciendo la continuidad asistencial (1,2,5) y fortaleciendo el papel estratégico de los servicios de salud ocupacional dentro de los programas corporativos de promoción y prevención.

Fortalezas y limitaciones

La principal fortaleza de esta investigación radica en la integración de tres niveles complementarios de evidencia: una cohorte ocupacional de 553 trabajadores, la comparación descriptiva con referentes epidemiológicos nacionales y un subanálisis analítico de riesgo cardiovascular. Esta aproximación permitió trascender la descripción convencional de prevalencias y desarrollar una propuesta conceptual para la reorganización de la vigilancia médico-ocupacional basada en la identificación de dominios clínicos y la estratificación del riesgo.

Otra fortaleza del estudio corresponde a la utilización de dominios clínicos como unidad de análisis. Este enfoque facilita la comprensión de la carga de enfermedad dentro de la población trabajadora, permite integrar diagnósticos con afinidad clínica y fisiopatológica y favorece la planificación de estrategias de vigilancia e intervención dirigidas hacia grupos de condiciones relacionadas, en lugar de abordajes aislados para cada diagnóstico.

Asimismo, la integración de información descriptiva, epidemiológica y analítica proporciona un marco conceptual que amplía el alcance tradicional del examen médico-ocupacional y plantea una propuesta innovadora para fortalecer la articulación entre la medicina del trabajo y otras especialidades clínicas mediante un modelo de gestión basado en el riesgo.

No obstante, el estudio presenta varias limitaciones que deben considerarse al interpretar sus resultados. En primer lugar, la cohorte estuvo conformada exclusivamente por trabajadores administrativos de una única organización, lo que puede limitar la generalización de los hallazgos a otros sectores económicos o grupos ocupacionales con diferentes perfiles de exposición.

En segundo lugar, la comparación con la epidemiología nacional tuvo un carácter descriptivo y no incluyó procedimientos de estandarización por edad, sexo u otras variables potencialmente confusoras. En consecuencia, las diferencias observadas deben interpretarse como una contextualización epidemiológica y no como comparaciones directas entre poblaciones.

Adicionalmente, el subanálisis cardiovascular se desarrolló mediante un diseño transversal, por lo que las asociaciones identificadas no permiten establecer relaciones causales. Asimismo, el tamaño de la muestra analítica generó intervalos de confianza amplios para algunas variables, aspecto que deberá explorarse mediante estudios con mayor poder estadístico.

Finalmente, el modelo conceptual propuesto constituye una hipótesis organizacional derivada de la evidencia obtenida y aún no ha sido evaluado mediante estudios de implementación. Futuros estudios multicéntricos y prospectivos deberán validar la reproducibilidad de los dominios clínicos identificados y determinar el impacto del modelo sobre desenlaces clínicos, funcionales, económicos y organizacionales en diferentes contextos laborales.

4. Conclusiones

La presente investigación demuestra que los hallazgos obtenidos durante los exámenes médico-ocupacionales no se distribuyen de forma aleatoria, sino que se agrupan en dominios clínicos definidos que representan fenotipos con relevancia epidemiológica y asistencial. En la cohorte analizada, los dominios visual y cardiometabólico concentraron la mayor carga de enfermedad, seguidos por los dominios auditivo y osteomuscular, lo que evidencia que la vigilancia ocupacional genera información estructurada susceptible de utilizarse para la gestión integral del riesgo.

La comparación con referentes epidemiológicos nacionales permitió contextualizar los hallazgos observados y mostró que, aunque algunas condiciones individuales presentan una menor frecuencia respecto a la población general, la carga agregada de enfermedad continúa siendo clínicamente relevante. Este comportamiento es consistente con el efecto del trabajador sano y resalta la importancia de interpretar los resultados ocupacionales desde una perspectiva poblacional además de individual (14,30,31).

El subanálisis cardiovascular confirmó que el dominio cardiometabólico no solo concentra una parte importante de la carga clínica, sino que contiene factores asociados significativamente con la presencia de hipertensión arterial. La edad, el antecedente de hipertensión, la dislipidemia y el consumo de alcohol permitieron identificar trabajadores con mayor riesgo, demostrando que la información derivada de los exámenes médico- ocupacionales puede utilizarse para realizar procesos de estratificación clínica y orientar intervenciones preventivas diferenciadas.

El principal aporte de este estudio consiste en integrar tres niveles complementarios de evidencia: la caracterización de una cohorte ocupacional, su contextualización mediante referentes epidemiológicos nacionales y la demostración de riesgo clínico dentro de uno de los dominios identificados. Esta integración sustenta un modelo ampliado de medicina del trabajo en el que el especialista deja de limitarse a emitir conceptos de aptitud laboral para asumir un papel de coordinador de rutas clínicas basadas en el riesgo y articuladas con otras especialidades médicas.

Desde esta perspectiva, el modelo propuesto representa una evolución conceptual de la vigilancia médico-ocupacional, transformando el proceso tradicional de "evaluación– concepto de aptitud" en un proceso continuo de "evaluación–identificación de fenotipos– estratificación del riesgo–intervención multidisciplinaria–seguimiento". Esta aproximación tiene el potencial de fortalecer la prevención secundaria, optimizar la utilización de los recursos asistenciales y mejorar la continuidad del cuidado en la población trabajadora.

Finalmente, futuros estudios multicéntricos y prospectivos deberán validar la reproducibilidad de los dominios clínicos identificados, evaluar su comportamiento en diferentes sectores económicos y determinar el impacto clínico, funcional y económico de la implementación del modelo propuesto sobre los desenlaces en salud de los trabajadores.

Bibliografía

1. World Health Organization. Healthy workplaces: a model for action: for employers, workers, policymakers and practitioners. Geneva: World Health Organization; 2010. 2. World Health Organization. Global strategy on occupational health for all: the way to health at work. Geneva: World Health Organization; 1995. 3. International Labour Organization. Occupational Health Services Convention, 1985 (No. 161). Geneva: International Labour Organization; 1985. 4. International Labour Organization. Occupational Health Services Recommendation, 1985 (No. 171). Geneva: International Labour Organization; 1985. 5. Schill AL, Chosewood LC. The NIOSH Total Worker Health program: an overview. J Occup Environ Med. 2013;55(12 Suppl):S8-S11. doi:10.1097/JOM.0000000000000037. 6. Anger WK, Elliot DL, Bodner T, Olson R, Rohlman DS, Truxillo DM, et al. Effectiveness of Total Worker Health interventions. J Occup Health Psychol. 2015;20(2):226-47. doi:10.1037/a0038340. 7. International Commission on Occupational Health. International code of ethics for occupational health professionals. 3rd ed. Rome: International Commission on Occupational Health; 2014. 8. Tamers SL, Chosewood LC, Childress A, Hudson H, Nigam J, Chang CC. Total Worker Health 2014-2018: the novel approach to worker safety, health, and well-being evolves. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(3):321. doi:10.3390/ijerph16030321. 9. World Health Organization. Noncommunicable diseases [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2023 [cited 2026 Jul 16]. Available from: https://www.who.int/news- room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases 10. GBD 2019 Blindness and Vision Impairment Collaborators; Vision Loss Expert Group of the Global Burden of Disease Study. Trends in prevalence of blindness and distance and near vision impairment over 30 years: an analysis for the Global Burden of Disease Study. Lancet Glob Health. 2021;9(2):e130-43. doi:10.1016/S2214-109X(20)30425-3. 11. Roth GA, Mensah GA, Johnson CO, Addolorato G, Ammirati E, Baddour LM, et al. Global burden of cardiovascular diseases and risk factors, 1990-2019: update from the GBD 2019 Study. J Am Coll Cardiol. 2020;76(25):2982-3021. doi:10.1016/j.jacc.2020.11.010. 12. GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. Lancet. 2020;396(10258):1204-22. doi:10.1016/S0140- 6736(20)30925-9. 13. Haile LM, Kamenov K, Briant PS, Orji AU, Steinmetz JD, Abdoli A, et al. Hearing loss prevalence and years lived with disability, 1990-2019: findings from the Global Burden of Disease Study 2019. Lancet. 2021;397(10278):996-1009. doi:10.1016/S0140- 6736(21)00516-X.

14. McMichael AJ. Standardized mortality ratios and the healthy worker effect: scratching beneath the surface. J Occup Med. 1976;18(3):165-8. 15. National Research Council. Toward precision medicine: building a knowledge network for biomedical research and a new taxonomy of disease. Washington (DC): National Academies Press; 2011. doi:10.17226/13284. 16. Collins FS, Varmus H. A new initiative on precision medicine. N Engl J Med. 2015;372(9):793-5. doi:10.1056/NEJMp1500523. 17. Robinson PN. Deep phenotyping for precision medicine. Hum Mutat. 2012;33(5):777-80. doi:10.1002/humu.22080. 18. Jameson JL, Longo DL. Precision medicine—personalized, problematic, and promising. N Engl J Med. 2015;372(23):2229-34. doi:10.1056/NEJMsb1503104. 19. D'Agostino RB Sr, Vasan RS, Pencina MJ, Wolf PA, Cobain M, Massaro JM, et al. General cardiovascular risk profile for use in primary care: the Framingham Heart Study. Circulation. 2008;117(6):743-53. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.107.699579. 20. Kaptoge S, Pennells L, De Bacquer D, Cooney MT, Kavousi M, Stevens G, et al. World Health Organization cardiovascular disease risk charts: revised models to estimate risk in 21 global regions. Lancet Glob Health. 2019;7(10):e1332-45. doi:10.1016/S2214- 109X(19)30318-3. 21. Visseren FLJ, Mach F, Smulders YM, Carballo D, Koskinas KC, Bäck M, et al. 2021 ESC Guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. Eur Heart J. 2021;42(34):3227-337. doi:10.1093/eurheartj/ehab484. 22. Arnett DK, Blumenthal RS, Albert MA, Buroker AB, Goldberger ZD, Hahn EJ, et al. 2019 ACC/AHA Guideline on the primary prevention of cardiovascular disease. Circulation. 2019;140(11):e596-646. doi:10.1161/CIR.0000000000000678. 23. von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP; STROBE Initiative. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology statement: guidelines for reporting observational studies. Ann Intern Med. 2007;147(8):573-7. doi:10.7326/0003-4819-147-8-200710160-00010. 24. Grimes DA, Schulz KF. Descriptive studies: what they can and cannot do. Lancet. 2002;359(9301):145-9. doi:10.1016/S0140-6736(02)07373-7. 25. Colombia. Ministerio del Trabajo. Resolución 0312 de 2019, por la cual se definen los estándares mínimos del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo. Bogotá: Ministerio del Trabajo; 2019. 26. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. JAMA.

2013;310(20):2191-4. doi:10.1001/jama.2013.281053. 27. Colombia. Congreso de la República. Ley Estatutaria 1581 de 2012, por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. Diario Oficial No. 48.587. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia; 2012. 28. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, Ministerio de Salud y Protección Social, Instituto Nacional de Salud, Departamento Administrativo para la Prosperidad Social, Universidad Nacional de Colombia. Encuesta Nacional de Situación Nutricional de Colombia, ENSIN 2015: documento general de análisis. Bogotá: Instituto Colombiano de Bienestar Familiar; 2019.

29. Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social. Análisis de situación de salud en Colombia, 2023. Bogotá: Ministerio de Salud y Protección Social; 2023. 30. Galvis V, Tello A, Otero J, Serrano AA, Gómez LM, Camacho PA, et al. Prevalence of refractive errors in Colombia: MIOPUR study. Br J Ophthalmol. 2018;102(10):1320-3. doi:10.1136/bjophthalmol-2018-312149. 31. Zurique-Sánchez MS, Zurique-Sánchez CP, Camacho-López PA, Sánchez-Sanabria M, Hernández-Hernández SC. Prevalencia de hipertensión arterial en Colombia: revisión sistemática y metaanálisis. Acta Med Colomb. 2019;44(4):20-33. doi:10.36104/amc.2019.1293. 32. Haendel MA, Chute CG, Robinson PN. Classification, ontology, and precision medicine. N Engl J Med. 2018;379(15):1452-62. doi:10.1056/NEJMra1615014. 33. Delude CM. Deep phenotyping: the details of disease. Nature. 2015;527(7576):S14-5. doi:10.1038/527S14a. 34. Houle D, Govindaraju DR, Omholt S. Phenomics: the next challenge. Nat Rev Genet. 2010;11(12):855-66. doi:10.1038/nrg2897. 35. GBD 2021 Diseases and Injuries Collaborators. Global incidence, prevalence, years lived with disability, disability-adjusted life-years, and healthy life expectancy for 371 diseases and injuries in 204 countries and territories and 811 subnational locations, 1990-2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. Lancet. 2024;403(10440):2133-61. doi:10.1016/S0140-6736(24)00757-8. 36. Williams B, Mancia G, Spiering W, Agabiti Rosei E, Azizi M, Burnier M, et al. 2018 ESC/ESH Guidelines for the management of arterial hypertension. Eur Heart J. 2018;39(33):3021- 104. doi:10.1093/eurheartj/ehy339. 37. Whelton PK, Carey RM, Aronow WS, Casey DE Jr, Collins KJ, Dennison Himmelfarb C, et al. 2017 ACC/AHA/AAPA/ABC/ACPM/AGS/APhA/ASH/ASPC/NMA/PCNA Guideline for the prevention, detection, evaluation, and management of high blood pressure in adults. Hypertension. 2018;71(6):e13-115. doi:10.1161/HYP.0000000000000065. 38. Kirkwood BR, Sterne JAC. Essential medical statistics. 2nd ed. Oxford: Blackwell Science; 2003. 39. Altman DG. Practical statistics for medical research. London: Chapman & Hall; 1991. 40. Council for International Organizations of Medical Sciences. International ethical guidelines for health-related research involving humans. 4th ed. Geneva: Council for International Organizations of Medical Sciences; 2016. 41. Colombia. Ministerio de Salud y Protección Social; Organización Panamericana de la Salud; Universidad Nacional de Colombia. Análisis de situación de la salud auditiva y comunicativa en Colombia. Bogotá: Ministerio de Salud y Protección Social; 2016. 42. Ferreira ML, de Luca K, Haile LM, Steinmetz JD, Culbreth GT, Cross M, et al. Global, regional, and national burden of low back pain, 1990-2020, its attributable risk factors, and projections to 2050: a systematic analysis of the Global Burden of Disease Study 2021. Lancet Rheumatol. 2023;5(6):e316-29. doi:10.1016/S2665-9913(23)00098-X. 43. Lee MP, Hudson H, Richards R, Chang CC, Chosewood LC, Schill AL. Fundamentals of Total Worker Health approaches: essential elements for advancing worker safety, health, and well-being. Cincinnati (OH): U.S. Department of Health and Human Services, Centers for

Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health; 2016. DHHS (NIOSH) Publication No. 2017-112. 44. Leso V, Carugno M, Carrer P, Fusco F, Mendola M, Coppola M, et al. The Total Worker Health® approach: a systematic review of its application in different occupational settings. BMC Public Health. 2024;24:2037. doi:10.1186/s12889-024-19500-y. 45. World Health Organization. HEARTS: technical package for cardiovascular disease management in primary health care: risk-based CVD management. Geneva: World Health Organization; 2020

Postural Risk Assessment in Agriculture using UAVs

Luis A. Saavedra-Robinson[1]; Andrea Baquero-Medina[1]; Andres Caballero-Beltran[1]; Sofía Vargas-Parra[1]; María-José Vásquez[1]

[1] Department of Industrial Engineering, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Abstract

Despite the steady increase in global food demand, agriculture continues to be an essential sector. However, it remains highly dependent on physical labor, especially in developing countries such as Colombia, where manual labor predominates and ergonomic solutions are not yet widely available. This research focuses on the high incidence of musculoskeletal disorders (MSDs) in agricultural workers, a critical occupational health problem caused by repetitive movements, postures maintained for long periods, and intense physical efforts typical of activities such as sowing and harvesting. Several studies indicate that the prevalence of chronic diseases such as tendinitis and low back pain in this workforce can be up to four times higher than in the general population. In fact, more than 75% of farmers report persistent pain, which generates significant social and economic repercussions, affecting both their well-being and their productive performance. Against this background, this project proposes a new technical instrument using drone-derived recordings combined with a machine learning algorithm to detect and categorize risky postures using the Rapid Entire Body Assessment (REBA) approach. Empirical field trials and controlled laboratory simulations are part of a hybrid approach used to ensure efficiency and applicability. The lettuce field is situated in the vicinity of Samacá, Boyacá. The objective of this instrument is to convert the aerial audiovisual record into quantifiable ergonomic information and produce an interactive visual display that enables real-time decision-making. The anticipated outcome of the system is a 50% reduction in the time required to conduct postural evaluations compared to conventional manual methods.

Palabras Clave

Ergonomics, Agricultural Workers, Drones, Postural Assessment, UAVs, REBA, Work-Related Musculoskeletal Disorders

1. Introducción

Agriculture is indispensable to global food security, yet it remains one of the most physically demanding occupations. Musculoskeletal disorders (MSDs) are the most prevalent occupational diseases in farming, arising from repetitive motions, awkward postures, and strenuous tasks such as sowing, irrigating, harvesting, and transporting loads. Epidemiological studies consistently show that agricultural workers are three to four times more likely to develop chronic conditions— including tendonitis, arthritis, and low back pain—than the general population (Barneo-Alcántara et al., 2021; Kumar et al., 2018). These disorders are not isolated but systemic outcomes of agricultural labor, underscoring the urgent need for scalable ergonomic solutions. Traditional ergonomic assessment tools such as RULA, OWAS, and REBA have long been used to identify hazardous postures. While valuable, these methods rely on direct observation and controlled

environments, limiting their applicability in dynamic, open-field settings. For agricultural ergonomics, this limitation is critical: without real-time, context- sensitive data, assessments

risk oversimplifying complex movement patterns and failing to capture cumulative strain. Thus, the field requires a paradigm shift toward technologies capable of delivering continuous, objective, and scalable monitoring.

Precision Agriculture (PA) provides a framework for such innovation. By integrating technologies such as 3D mapping, precise fertilization, and optimized irrigation, PA has transformed farming practices, enhancing productivity and sustainability (FAO, 2021). Within this paradigm, drones—or Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)—have become indispensable tools. Initially developed for military purposes, UAVs now enable aerial monitoring of soil conditions, humidity, and crop health. Their ability to rapidly cover extensive areas and collect real-time data positions them as central to modern farming strategies. Importantly, recent research has extended their utility beyond crop management, exploring their potential in ergonomic monitoring and occupational health.

Empirical evidence supports this integration. Kapse et al. (2024) demonstrated that drones equipped with deep learning algorithms could classify nursery workers' postures with over 87% accuracy. Kawakura et al. (2022) advanced this approach by embedding processors in drones to detect inappropriate postures and stumbling, with real-time alerts designed to prevent accidents and reduce strain. These studies illustrate the feasibility of UAV-based ergonomic monitoring and highlight its potential to transform occupational health in agriculture. Unlike traditional tools, UAVs can capture dynamic, real-time data in open-field settings, addressing a gap that has remained largely unexplored. Beyond posture classification, UAVs can be integrated with wearable sensors to provide comprehensive ergonomic assessments. Accelerometers and electromyography (EMG) sensors allow detailed analysis of muscle activity and movement patterns. When combined with aerial imagery, these data sources create robust monitoring systems capable of identifying unsafe postures and repetitive movements with high accuracy. Mukashev et al. (2022) reported efficiencies greater than 95% by integrating motion data from wearable sensors with drone-based postural analysis. Such multimodal approaches are particularly effective in open environments, where variability in mobility, weather, and lighting complicates data collection. For reviewers, this integration demonstrates methodological sophistication and adaptability.

The ergonomic benefits of drones extend beyond monitoring. In rice cultivation, Umeda et al. (2022) showed that drone-assisted pesticide application significantly reduced farmers' working time, minimized physical effort, and lowered the prevalence of high-risk postures compared to manual spraying methods. More than 60% of drone-assisted operations were classified as low ergonomic risk, underscoring the dual advantage of UAVs in improving both productivity and worker health. These findings demonstrate that UAVs are not merely theoretical innovations but practical tools with measurable impacts on occupational health. The relevance of UAV-based ergonomic monitoring is reinforced by developments

in Industry 4.0, where human-centered design principles are increasingly integrated into industrial engineering. Studies on smart workstations have shown that combining fixed cameras with ergonomic assessment tools can increase productivity by 12% and reduce ergonomic risks by 20%. While conducted in controlled environments, these studies highlight the potential of technology-driven ergonomic solutions. The challenge lies in adapting these approaches to open-field agricultural settings, where environmental variability and dynamic movement patterns complicate data collection. Addressing this challenge is precisely the contribution of the present study.

This research proposes the use of drones to capture posture data of agricultural workers in real-world, open-field environments. Unlike prior studies conducted indoors with fixed or depth cameras, this approach leverages UAVs equipped with pose estimation algorithms and machine learning models to provide accurate, real- time assessments of worker movements. As

Lee et al. (2022) demonstrated, drones with fuzzy logic systems can recognize body states such as walking, falling, or crouching in real time, making them suitable for health and safety monitoring in rural settings. Extending these capabilities to agricultural ergonomics offers actionable insights to reduce MSD risks and improve working conditions. Ultimately, this study seeks to reconcile technological advancement with human- centered design in agriculture. While Precision Agriculture has traditionally focused on productivity and resource efficiency, the integration of UAVs into ergonomic monitoring ensures that worker well-being is also prioritized. By providing data-driven insights into posture and movement, UAV-based systems can inform ergonomic interventions that reduce MSD risks, enhance safety, and improve quality of life for agricultural workers. In doing so, they contribute to a more sustainable and equitable agricultural industry, where innovation serves not only economic goals but also human health and dignity. For reviewers, this dual contribution—advancing methodological rigor while addressing pressing occupational health concerns—positions the study as both scientifically significant and socially impactful.

2. Metodología

Population: Comprising 15 to 20 university students (18+) registered free from musculoskeletal illnesses (MSDs), the first group has notified approval in line with data protection regulations. Under laboratory conditions, the subjects engaged in simulated tasks linked to fertilization and harvest. The selected sample size follows guidelines established in ergonomic and biomechanical studies, which counsels homogeneous, small group use to provide good internal validity. The second group consists of 10 to 15 lettuce farm workers over the age of 18. All must have at least six months of experience in agricultural labor, no history of MSDs, and must have voluntarily agreed to participate. This group will be observed directly in their workplace, allowing the proposed assessment tool to be tested in real-field conditions.

Equipment: Data collecting employed three-axis gimbals for video stabilization, quadcopter drones equipped with GPS for exact position, and high-resolution cameras (Full HD or 4K). With safety features like autonomous return-to- home capability, every drone has an average flying range of 25 minutes. Participants was recorded in laboratory and outdoor settings carrying out increasing growth and harvesting operations. Using the REBA approach, postural risks was assessed considering joint angles, load management, movement frequency, and support. Every posture will get a REBA score and matches risk level, therefore enabling comparisons between the two environments.

Algorithm approach: The first step focuses on the selection, analysis, and initial implementation of algorithms suitable for automating ergonomic risk evaluation. It was described the assessment of three potential codes capable of estimating REBA scores through human posture detection (Mora et al, 2022). The algorithm that demonstrated the best performance was later tested and refined to ensure its compatibility with the input data obtained from MediaPipe and drone-captured videos (Zhou el tal.,2023). The Analytic Hierarchy Process (AHP) was employed as the primary decision-making instrument to guarantee an objective selection.

Table 1. AHP criteria Matrix to algorithm selection

Criteria	Instance_REBA.py	Upper_arm_degrees.py	Ergonomics
Main purpose	Automatically calculates the complete REBA score using body pose detection with MediaPipe.	Calculates upper arm angles (flexion, abduction, and elevation) from joint coordinates.	Provides general functions for posture and movement analysis, not focused on REBA.
Language and libraries	Python — uses mediapipe, cv2, numpy, math.	Python — uses numpy and its own modules (Util, body_part_numbering.	Python — uses pandas, numpy, and internal libraries.
Input type	Video or image with detected body landmarks (MediaPipe Pose).	Set of body joint coordinates.	Postural or movement data records.
Output type	Total REBA score and ergonomic risk classification.	Movement angles of right and left arms (flexion, side, and elevation).	Posture or exertion indices and classifications.
Level of detail	Full-body analysis based on the REBA method.	Focused only on arms and shoulders.	Covers different ergonomic aspects.
Ease of use	Structured code with mostly automated functions.	Requires manual configuration of input data.	Requires data adjustment to perform tests.
Advantages	Automatic, comprehensive, and adaptable to video-based work.	Accurate in angle calculation and useful for validation.	Versatile and extendable to other ergonomic methods.
Requirements	Requires good lighting and clear pose detection.	Does not calculate total REBA score, only arm movement.	Does not directly apply the REBA method.

Procedure: The process began with the characterization of agricultural tasks, identifying the mechanical and biomechanical demands related to planting and harvesting lettuce. Next, controlled simulations were carried out in a laboratory setting, where healthy participants will be recorded with drones while performing the previously characterized agricultural activities. These participants were selected according to the inclusion and exclusion criteria (see Table 1) and was given an informed consent form explaining the purpose of the project, the processing and protection of their data, which is for academic purposes and only

was used to feed the algorithm for postural assessment of the agricultural activities characterized above. The videos and data collected were organized and classified by task, posture, and risk level using observational ergonomics methods that will feed into the Python algorithm to calculate the postural risk level. Once the algorithm has been validated in the laboratory, field tests were carried out with real workers to verify that the algorithm works in real agricultural conditions. Informed consent was obtained, including data processing and data protection, to ensure the voluntary participation of everyone in the trial.

Table 2. Inclusion and Exclusion Criteria

	Laboratory staff	Field staff
Inclusion criteria	People over 18 years of age	People over 18 years of age At least 6 months of experience in agricultural work
Exclusion criteria	People with musculoskeletal discomfort in the last month	People with musculoskeletal injuries People with musculoskeletal discomfort in the last month

Data Analysis: Descriptive statistics' means, median, and standard deviation can help to define REBA scores with respect to certain study settings. If or not normally is reached, an independent samples t-test were found if the conditions in the laboratory and the field vary significantly. If the assumptions fail, the Wilcoxon rank-sum test were employed. Even if new criteria demand changes, these statistical tools underpin the study. After Excel's data structure, Python's statistical skills were dominated.

3. Resultados y discusión de resultados

Following the completion of the observational phase, a debriefing meeting was held with the farm foreman to validate and complement the data collected during the field study. Throughout this discussion, the foreman identified sowing, weeding, harvesting, and produce transportation as the tasks that imposed the greatest physical demands on workers. Based on these insights, the Rapid Entire Body Assessment (REBA) method was subsequently applied to these key activities to quantitatively analyze postural load and determine the corresponding levels of ergonomic risk. (See Figure 1)





Weeding

Harvesting





Sowing

Transport

Activity	REBA Score	Risk Level
Sowing	4	Medium
Weeding	10	High
Harvesting	10	High
Transport	11	Very High

Figure 1. REBA score in Agricultural industry

Algorithm results

The refinement phase, guided by the previously established methodological framework, were focused on transforming the conceptual design into a tangible and fully functional computational system. The process gave rise to three core outcomes that collectively established the foundation for the automated ergonomic risk assessment system based on the Rapid Entire Body Assessment (REBA) methodology. These results encompassed the selection and evaluation of algorithms, the redesign and optimization of the selected model, and the collection of drone-based audiovisual data to support empirical validation under real working conditions.

The initial deliverable, designated as the Algorithm Selection, compiled the computational codes reviewed during the preliminary development phase. Following an extensive review of open-access repositories and academic databases, three algorithms were identified: Instance_REBA.py, grados_brazo_upior.py, and reba.py. Each approach had a distinct computational framework for postural risk assessment, differing in processing architecture, efficiency, and compatibility with motion capture systems. To identify the most appropriate model, a comprehensive multi-criteria assessment was performed utilizing the Analytic Hierarchy Process (AHP) devised by Saaty (1987), enabling a systematic and transparent comparison of alternatives considering both technical rigor and practical feasibility. The analysis revealed notable differences among the three algorithms. Code 1 achieved the highest total performance score, followed by Code 2 and Code 3, confirming its superior capacity for accurate risk computation, integration flexibility, and computational efficiency.

Based on the results obtained during the analytical comparison, Code 1 demonstrated the highest level of consistency in posture classification using REBA-based criteria. It showed superior stability during angle estimation and fewer deviations when processing frames under

variable lighting and backgrounds, making it the most reliable candidate for further refinement. Enhancements were made to the integration with MediaPipe Pose to advance the

accuracy of anatomical landmark identification, and new subroutines were implemented to optimize angle detection and vector-based computations. Furthermore, tailored noise-reduction filters were employed to reduce environmental interference, and data pipelines were enhanced to expedite the conversion of visual inputs into numerical outputs (See Figure 2). To enhance its functionality, automated modules were incorporated for posture classification and ergonomic report generation, allowing the algorithm to independently process data and deliver REBA-based risk assessments in real time. These enhancements represented a notable advancement from the initial iteration, evolving into an autonomous analytical system capable of assimilating visual data from drones and translating it into structured ergonomic metrics

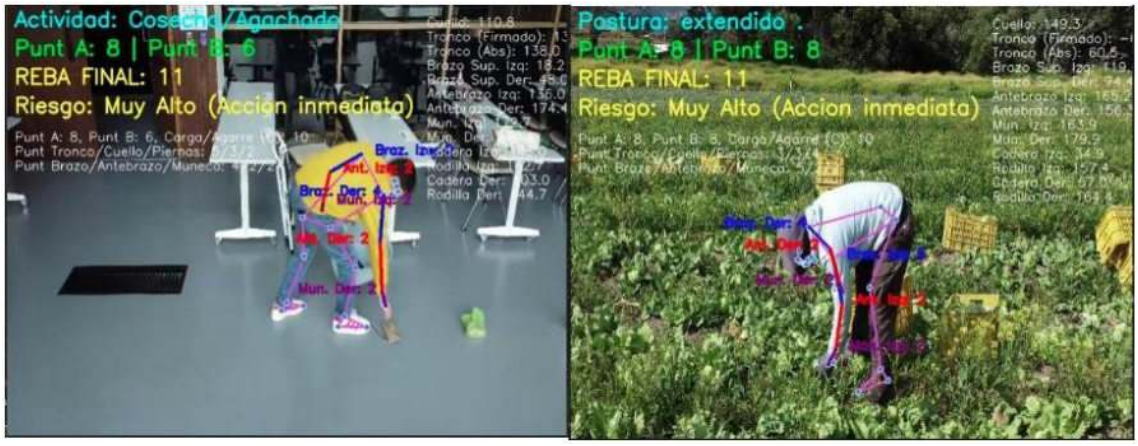


Figure 2. Algorithm validation (Laboratory and Field)

The development of a drone-based audiovisual database, named the UAV Video Collection. This resource became a fundamental empirical foundation for analyzing real working postures and validating the redesigned algorithm under authentic agricultural conditions. For this purpose, a DJI Mini 2 drone was employed as a compact and lightweight unmanned aerial vehicle (249g) with a flight time of approximately 31 minutes and a transmission range of 10 km (See Figure 3). Its 12-megapixel camera, capable of recording 4K video at 30 frames per second, combined with a three-axis gimbal, ensured stable and high-resolution footage that was essential for the detailed observation of movements and postural dynamics during agricultural operations. The footage collected during these sessions was carefully organized into a digital repository categorized by task type, environmental condition, and observed body posture. This classification enabled targeted comparisons and facilitated the validation of the results produced by the redesigned algorithm, bridging quantitative findings with visual evidence.



Figure 3. DJI Mini 4K Drone

At the laboratory, controlled simulations were recorded with the drone to validate the algorithm under standardized conditions. The drone footage from Samacá shows real agricultural tasks and confirms that the recordings were performed using the drone (See Figure 4).



Figure 4. Drone-captured visual record.

After collecting data from both contexts, the next step was to compare the REBA scores statistically to see how consistent and reliable they were. For this purpose, two analysis platforms were used: R Colab, used for computational data manipulation, and Microsoft Excel, used as a secondary tool for spreadsheet-based verification. In R Colab, the analysis was performed according to a clear sequence of statistical procedures. The procedure began with the Shapiro-Wilk test, used to evaluate the normality of the REBA score distributions; p-values exceeding 0.05 confirmed that the data met the assumption of normality. Subsequently, Levene's test was conducted to assess the homogeneity of variances between the two groups. The results produced p-values greater than 0.05, confirming that the condition of homoscedasticity was satisfied. After both statistical assumptions had been verified, a student's t-test for independent samples was performed under the assumption of equal variances.

The resulting p-values, which were below 0.05, revealed statistically significant differences between the average REBA scores obtained under real-field conditions and those recorded in the laboratory. The higher mean values observed in Samacá reflected an increased postural load and more demanding ergonomic requirements characteristic of authentic agricultural work when compared with the stability of the controlled environment (See Table 3).

Table 3. Summary of Statistical Comparison between Laboratory and Field REBA Scores

Activity	F-Test Result	T-Test Result	Statistical Conclusion
Sowing	Variances can be considered equal (F = 2.99)	$p = 0.0062 < 0.05$	Significant difference between environments. Higher REBA scores in the farm group indicate greater postural risk under real conditions.
Weeding	Variances can be considered equal (F = 3.80)	$p = 3.70 \times 10^{-5} < 0.05$	Highly significant difference. Field conditions produce higher REBA scores, reflecting greater physical demands.
Transport	Variances can be considered equal (F = 1.86)	$p = 5.31 \times 10^{-5} < 0.05$	Significant difference. Farm REBA scores are higher, showing increased postural risk compared to laboratory conditions.
Harvest	Variances can be considered equal (F = 1.57)	$p = 0.3020 > 0.05$	No statistically significant difference. Physical demands during harvesting are similar in both environments.

4. Conclusiones

Guided by the Analytic Hierarchy Process, the study identified Instance_REBA.py as the most reliable base, precise and adaptable to motion-capture data. Its redesign refined how the system detected body points, measured angles, and classified postural risks, turning observation into analysis with natural fluency. Supported by the UAV Video Collection, it learned to interpret real movements in the field, converting simple drone footage into clear and measurable signs of physical effort, giving new meaning to the gestures of everyday agricultural work.

The final stage of validation showed that the redesigned model performed with remarkable precision and consistency, proving its reliability both in controlled laboratory tests and in the unpredictable conditions of real agricultural work. The comparison between automated and manual evaluations showed a strong alignment, and the small differences observed reflected the natural variability of the environment and human movement, not flaws in the system itself. By bringing together computer vision, statistical analysis, and ergonomic assessment, the study shaped a complete and coherent framework. What emerged was more than a piece of technology it was a practical, human-centered tool built to make fieldwork safer, more efficient, and more sustainable. Its true value lies in how it turns raw data into real improvements for the people whose work inspired its creation.

The study was reinforced by a structured validation process that offered clear, measurable evidence of the algorithm's performance in both laboratory and real- field environments. Using a DJI Mini 2 drone (249 g, 12 MP, 4K/30 fps), the UAV Video Collection recorded high-resolution footage of key agricultural activities such as sowing, harvesting, and weeding, which were later analyzed using REBA scoring to assess posture and risk. In the controlled laboratory phase, the average REBA scores reached 5.11 for sowing, 8.25 for harvesting, and 7.00 for weeding, placing all these tasks within the medium- risk category. However, field recordings from Samacá, Boyacá showed higher scores of 7.39, 8.76, and 10.28. This moved some tasks into higher risk categories because the loads were heavier (2 kg vs. 12 kg), the terrain was uneven, the trunk flexion angles were greater (over 60°), and the workers were exposed to natural conditions like heat and humidity. Statistical analysis showed that although some individual values varied, the overall ergonomic risk categories stayed consistent, confirming the reliability of the algorithm. The data revealed that most postures between 60% and 90% fell within the low-risk range, while 7% to 35% were considered medium risk, and only up to 10% reached high or very high risk under real working conditions.

Bibliografía

Atiehmerikh. (n.d.). REBA_calculator –

body_part_reba_calculator/Pose_to_degrees/upper_arm_degrees.py [Source code].

GitHub. Retrieved from

https://github.com/Atiehmerikh/REBA_calculator/blob/master/body_part_reba_calcu lator/Pose_to_degrees/ upper_arm_degrees.py Baquero, S. (n.d.). MEDIAPIPE-REBA – Instancia_REBA.py [Source code]. GitHub. Retrieved from https://github.com/SantiagoBaquero/MEDIAPIPE-

REBA/blob/main/Instancia_REBA.py Barneo-Alcántara, M., Díaz-Pérez, M., Gómez-Galán, M., Carreño-Ortega, Á., &

Callejón-Ferre, Á.-J.(2021). Musculoskeletal disorders in agriculture: A review from Web of Science Core Collection. Agronomy, 11(10), 2017. https://doi.org/10.3390/agronomy11102017 FAO. (2021). World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021. Food and

Agriculture Organization of the United Nations. https:// doi.org/10.4060/cb4477en Kapse, S., Wu, R., & Thamsuwan, O. (2024). Addressing ergonomic challenges in

agriculture through AI-enabled posture classification. Applied Sciences, 14(2), 525. https://doi.org/10.3390/app14020525 Kawakura, S., Hirafuji, M., & Shibasaki, R.(2022). Development of automatic posture

and stumbling judgement system using deep learning, Jetson Nano and drone with information-sharing function. In M. A. R. Ahad, S. Inoue, & G. Lopez (Eds.), Human activity and behavior analysis: Volume 2: Movement and sensors (pp. 130– 141). CRC Press Kumar, A., Singh, S., & Mohan, D. (2018). Evaluation of musculoskeletal disorders and

postural stress among agricultural workers. Journal of Agromedicine, 23(2), 129– 137. Lee, M.-F. R., Chen, Y.-C., & Tsai, C.-Y. (2022). Deep learning-based human body

posture recognition and tracking for unmanned aerial vehicles. Processes, 10(11), 2295. https://doi.org/10.3390/pr10112295 Mora, D., Pérez, J., & Salazar, L. (2022). Automatización del análisis postural mediante

visión artificial. Revista Latinoamericana de Ergonomía, 15(3), 54–67. Mukashev, A., Van, L.-D., Sharma, S., Tandia, M. F., & Tseng, Y.-C. (2022). Person

tracking by fusing posture data from UAV video and wearable sensors. IEEE Sensors Journal, 22(24), 24150–24158. https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3218373 Saaty, T. (1987). The Analytic Hierarchy Process: What it is and how it is used.

Mathematical Modelling, 9(3–5), 161–176. Umeda, S., Yoshikawa, N., & Seo, Y. (2022). Cost and workload assessment of

agricultural drone sprayer: A case study of rice production in Japan. Sustainability, 14(17), 10850. https://doi.org/10.3390/su141710850 Zhou, L., Zhang, X., & Li, J. (2023). Pose Estimation for Ergonomic Risk Assessment

Using MediaPipe. IEEE Access, 11, 45523– 45531.

Estrategia de Sostenibilidad Multicampus y Gestión del Cambio Climático: El Camino hacia las Cero Emisiones Netas en la UPB

Bader Yudina Saleme Negrete*; Isabel Cristina Rendón Vanegas

Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), Colombia

*Referencia del autor: bader.saleme@upb.edu.co

Abstract

El presente documento describe la evolución y consolidación de la estrategia de sostenibilidad multicampus de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), iniciada en 2017. A través de cinco programas y dieciocho proyectos integrales, la institución ha estructurado un modelo de gestión basado en la regeneración, la resiliencia, el liderazgo consciente y el interés colectivo, incorporando la sostenibilidad como un eje transversal de la planeación institucional y promoviendo la integración de criterios ambientales, sociales y de gobernanza en todas sus sedes.

Se destacan los logros alcanzados en materia de cambio climático, respaldados por la obtención de la Certificación Carbono Neutro Multicampus y el avance hacia la Certificación Cero Emisiones Netas – En Desarrollo bajo el protocolo ICONTEC E-PS-0187. La metodología implementada incluye la cuantificación rigurosa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en todas las sedes e instalaciones de la Universidad, permitiendo el diseño y seguimiento de estrategias orientadas a la reducción progresiva de la huella de carbono institucional.

Como parte de este proceso, la UPB ha fortalecido acciones relacionadas con eficiencia energética, energías renovables, movilidad sostenible, economía circular, gestión integral de residuos, conservación de la biodiversidad y uso eficiente de los recursos naturales. Estos esfuerzos permitieron reducir las emisiones institucionales de 2.972,90 tCO_2e en 2024 a 2.292,16 tCO_2e en 2025, lo que representa una disminución del 22,9 % y evidencia avances concretos hacia la descarbonización de sus operaciones.

Los resultados obtenidos han sido reconocidos mediante certificaciones externas otorgadas por ICONTEC, entre las que se destacan la Certificación Basura Cero Categoría Oro para las sedes de Medellín, Montería y Bucaramanga, la Certificación Carbono Neutro Multicampus y la Certificación Cero Emisiones Netas – En Desarrollo. Estas distinciones reflejan la madurez de los sistemas de gestión implementados y el compromiso institucional con la mejora continua, la acción climática y la sostenibilidad.

La experiencia de la UPB demuestra el papel estratégico que pueden desempeñar las instituciones de educación superior en la transición hacia modelos de desarrollo más sostenibles, integrando la sostenibilidad en sus procesos de formación, investigación, extensión y gestión administrativa. Este avance, sumado a su posicionamiento entre las universidades más sostenibles de Colombia según rankings internacionales de impacto, consolida a la Universidad como un referente nacional en gestión ambiental y acción climática, orientada hacia un futuro sostenible, resiliente y de cero emisiones netas.

Palabras Clave

sostenibilidad; cambio climático; neutralidad de carbono; emisiones netas cero; educación superior.

1. Introducción

En respuesta a los desafíos globales del cambio climático, las instituciones de educación superior están llamadas a asumir un papel activo en la construcción de modelos de desarrollo sostenibles. En este contexto, la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) ha consolidado una estrategia de sostenibilidad multicampus que ha permitido integrar la gestión ambiental, social y de gobernanza en todas sus sedes, logrando avances significativos en reducción de emisiones, carbono neutralidad y transición hacia modelos de cero emisiones netas.

Desde el año 2017, la Universidad puso en marcha la estrategia multicampus UPB Sostenible, concebida como una hoja de ruta para integrar criterios ambientales, sociales y de gobernanza en Medellín, Bucaramanga, Montería, Palmira y los diferentes escenarios de actuación institucional. Esta estrategia se ha desarrollado a partir de cuatro pilares fundamentales: Gobierno Corporativo, Regeneración y Resiliencia, Liderazgo Consciente e Interés Colectivo. (Universidad Pontificia Bolivariana, 2025).

Esta evolución ha permitido que la sostenibilidad trascienda el ámbito operativo para convertirse en un componente estratégico de la planeación institucional, articulando proyectos de energía renovable, economía circular, biodiversidad, movilidad sostenible y gestión climática bajo una visión común de largo plazo.

Durante los últimos años la Universidad ha consolidado un sistema de gestión climática multicampus orientado a la descarbonización progresiva de sus operaciones, fortaleciendo simultáneamente la resiliencia institucional frente a los desafíos ambientales y contribuyendo al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Los avances alcanzados han sido reconocidos mediante mecanismos de verificación y certificación externa, entre los que se destacan las certificaciones Basura Cero Categoría Oro, Carbono Neutro Multicampus y Cero Emisiones Netas – En Desarrollo, las cuales respaldan la efectividad de las estrategias implementadas y evidencian la madurez del modelo institucional de sostenibilidad.

El presente artículo presenta la evolución de la Estrategia de Sostenibilidad Multicampus y Gestión del Cambio Climático de la Universidad Pontificia Bolivariana, analizando los resultados obtenidos en materia de descarbonización, resiliencia y sostenibilidad, así como los principales desafíos asociados al cumplimiento de la hoja de ruta institucional hacia las cero emisiones netas.

2. Metodología

El presente trabajo corresponde a un estudio de caso descriptivo basado en el análisis de la experiencia institucional de la Universidad Pontificia Bolivariana y en la revisión de los Reportes de Sostenibilidad Multicampus publicados entre 2022 y 2025. La información fue complementada con los resultados de los procesos de certificación ambiental y climática otorgados por entidades externas, permitiendo identificar la evolución de la estrategia institucional de sostenibilidad y gestión del cambio climático.

La metodología se estructuró en dos componentes complementarios: la gestión de la huella de carbono y la implementación de la estrategia institucional UPB Sostenible. Esta aproximación

permitió analizar de manera integral tanto los resultados cuantitativos asociados a la reducción de emisiones como las acciones organizacionales desarrolladas para fortalecer la sostenibilidad multicampus.

Método 1. Gestión de la huella de carbono y descarbonización

La Universidad implementó un sistema de gestión climática basado en estándares internacionalmente reconocidos para la cuantificación de gases de efecto invernadero, principalmente el Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) y los lineamientos de la norma ISO 14064 (Osorio et al., 2022). A partir de estas metodologías se desarrollaron inventarios periódicos de emisiones para las diferentes sedes universitarias, permitiendo identificar fuentes emisoras, establecer líneas base y realizar seguimiento a la evolución de la huella de carbono institucional.

La información obtenida a través de los inventarios fue utilizada para definir estrategias de mitigación relacionadas con eficiencia energética, implementación de sistemas fotovoltaicos, gestión de residuos, movilidad sostenible, optimización de infraestructura y adquisición de energía renovable. Asimismo, el proceso incluyó mecanismos de verificación externa y compensación de emisiones residuales, permitiendo consolidar el modelo Carbono Neutro Multicampus y avanzar hacia una estrategia institucional de cero emisiones netas.

Método 2. Implementación de la estrategia UPB Sostenible

La estrategia UPB Sostenible se desarrolló mediante un modelo institucional sustentado en cuatro pilares: Gobierno Corporativo, Regeneración y Resiliencia, Liderazgo Consciente e Interés Colectivo. Estos pilares orientan la formulación e implementación de programas y proyectos relacionados con cambio climático, biodiversidad, economía circular, movilidad sostenible, gestión hídrica, eficiencia energética y fortalecimiento de la cultura de sostenibilidad.

Para evaluar la evolución de la estrategia se analizaron los principales indicadores institucionales reportados entre 2022 y 2025 (Universidad Pontificia Bolivariana, 2022, 2023, 2024, 2025), incluyendo huella de carbono, consumo de recursos, generación de energía renovable, gestión de residuos, conservación de biodiversidad y resultados de certificaciones ambientales. Esta información permitió identificar avances, retos y oportunidades de mejora en el camino hacia las cero emisiones netas y la consolidación de una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad.

3. Resultados y discusión de resultados

Subsección 1. Gestión del cambio climático y resultados de descarbonización

La Universidad Pontificia Bolivariana ha consolidado un modelo de gestión climática multicampus orientado a la medición, reducción y compensación de emisiones de gases de efecto invernadero, permitiendo fortalecer la toma de decisiones y avanzar hacia una estrategia institucional de cero emisiones netas. Los resultados obtenidos reflejan la evolución de las acciones implementadas en materia de eficiencia energética, energías renovables, movilidad sostenible y gestión ambiental.

Tabla 1. Evolución de las emisiones institucionales

Año	Emisiones totales (tCO_2e)	Hito
2018	2.038,00	Año base de medición
2019	3.193,00	Máximo histórico

Año	Emisiones totales (tCO_2e)	Hito
2020	1.268,00	Reducción asociada a la pandemia
2021	1.562,00	Recuperación gradual
2022	1.704,00	Consolidación de gestión climática
2023	2.673,00	Inclusión de nuevas categorías de emisiones
2024	2.972,90	Impacto del transporte y fenómeno de El Niño
2025	2.292,16	Reducción del 22,9 % respecto a 2024

La evolución histórica de las emisiones evidencia una disminución progresiva de la huella de carbono institucional mediante una combinación de estrategias de eficiencia energética, gestión ambiental, energías renovables y transformación operativa (Universidad Pontificia Bolivariana, 2023, 2024, 2025). Aunque la incorporación de nuevas categorías de medición produjo incrementos temporales en algunos periodos, la reducción registrada en 2025 confirma la efectividad de las acciones implementadas y la consolidación de una estrategia de descarbonización de largo plazo.

La reducción alcanzada en 2025 representa un hito dentro de la hoja de ruta institucional hacia las cero emisiones netas, al evidenciar que la disminución de emisiones puede lograrse mediante intervenciones estructurales asociadas a eficiencia energética, generación de energía renovable, movilidad sostenible, optimización tecnológica y gestión ambiental. En 2025 la huella de carbono institucional alcanzó 2.292,16 tCO_2e, representando una disminución del 22,9 % respecto a 2024 (Universidad Pontificia Bolivariana, 2025).

Estos resultados fueron acompañados por la consolidación de proyectos de energía solar fotovoltaica, fortalecimiento de infraestructura inteligente, gestión eficiente del recurso hídrico, implementación de programas de movilidad sostenible y optimización de procesos operativos, contribuyendo a la reducción progresiva del impacto ambiental institucional.

Subsección 2. Regeneración, resiliencia y validación de la estrategia de sostenibilidad

La estrategia UPB Sostenible incorpora una visión integral de sostenibilidad que trasciende la gestión de emisiones e incluye acciones orientadas a la protección de la biodiversidad, la conservación de servicios ecosistémicos y el fortalecimiento de la resiliencia institucional. Los Ecocampus universitarios constituyen espacios de regeneración ambiental que favorecen la conectividad ecológica, la captura de carbono y la generación de valor ambiental para las comunidades (Universidad Pontificia Bolivariana, 2024, 2025).

Paralelamente a las acciones de descarbonización, la Universidad fortaleció estrategias de conservación mediante la gestión de sus Ecocampus, la protección de áreas verdes, el monitoreo de la biodiversidad y la implementación de acciones orientadas a la adaptación al cambio climático. Estas iniciativas contribuyen a la captura de carbono, la resiliencia institucional y la sostenibilidad territorial.

Como parte de las estrategias de conservación y monitoreo ambiental desarrolladas en los Ecocampus, la Universidad realiza seguimiento a la biodiversidad presente en sus sedes. La Tabla 2 presenta la distribución de las principales categorías de fauna registradas en Medellín y Montería.

Tabla 2. Categorización de fauna sede Medellín y Montería

Categoría de Fauna	Distribución en Medellín	Distribución en Montería
Aves	85%	16%

Categoría de Fauna	Distribución en Medellín	Distribución en Montería
Reptiles y anfibios	13%	80%
Mamíferos	2%	4%

Certificaciones y reconocimientos que respaldan la estrategia de sostenibilidad y descarbonización

Los resultados obtenidos por la Universidad han sido objeto de procesos de evaluación y verificación externa que permiten validar el desempeño alcanzado en materia de sostenibilidad y gestión climática. Las certificaciones obtenidas no constituyen únicamente reconocimientos institucionales, sino evidencia verificable de la efectividad de las estrategias implementadas y del cumplimiento de compromisos asociados a la reducción de impactos ambientales y a la construcción de una hoja de ruta hacia las cero emisiones netas.

La evolución de la estrategia institucional puede observarse a través de los procesos de certificación obtenidos durante los últimos años, los cuales evidencian el avance desde la gestión integral de residuos hacia la carbono neutralidad y posteriormente hacia la construcción de una estrategia de cero emisiones netas.

Certificación Basura Cero Categoría Oro

La Universidad obtuvo la Certificación Basura Cero Categoría Oro para las sedes de Medellín, Montería y Bucaramanga, reconocimiento que valida los avances logrados en economía circular, aprovechamiento de residuos y gestión integral de materiales (ICONTEC, 2025).

Figura 1. Certificación Basura Cero Categoría Oro otorgada por ICONTEC a la Universidad Pontificia Bolivariana



ZERO WASTE
Basura Cero
Oro

ICONTEC certifica que el Sistema de Gestión de la organización:
ICONTEC certifies that the Organization's Management System of:

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

Circular 1 No. 70 – 01, Medellín, Antioquia, Colombia

Véase el alcance del sistema de gestión para cada una de las sedes permanentes diferentes a la sede principal cubiertas por la certificación en el anexo.

ha sido auditado y aprobado con respecto a los requisitos especificados en:
has been audited and approved based on the specified requirements of:

NORMA INTERNACIONAL SISTEMAS DE GESTIÓN ZERO WASTE
BASURA CERO VERSIÓN 5

Este certificado es aplicable al siguiente alcance:
This certificate is applicable to the following scope:

Gestión de Basura Cero para la Gestión de proyectos de investigación, transferencia de tecnología y conocimiento en las áreas de: economía, administración y afines, ciencias sociales y humanas, ciencias de la educación, ciencias de la salud, e ingeniería, arquitectura, urbanismo y afines. Gestión de contenidos, gestión cultural y servicio de biblioteca. Producción editorial, difusión y venta de libros. Gestión docente y discente en pregrado y formación avanzada. Diseño, desarrollo y prestación de servicios de formación continua. Diseño, desarrollo y prestación del servicio de educación formal en los niveles de preescolar, básica primaria, básica secundaria y media académica. Gestión administrativa y financiera de la Universidad Pontificia Bolivariana, sede Central.

Research projects management, transference of knowledge and technology in the areas of economics, business administration and related, social and human sciences, science education, health sciences and engineering, architecture, urbanism and related. Content management, cultural management and library service. Book publishing, promotion, and sales. Design, development and benefit of continuous education services. Management of undergraduate and post graduate teachers and students. Design, development, and services of formal education at the preschool, primary, junior and high school levels. Administrative and financial management of the Universidad Pontificia Bolivariana, headquarters.

Puntaje obtenido: 100 **Categoría: ORO**

Indicador de reciclaje general: 62.6%
General Recycle Rate: 62.6%

Indicador de reciclaje real: 72.9%
Real Recycle Rate: 72.9%

Porcentaje de material reciclado compensado: 0%
Compensated Recycled Material Rate: 0%

Esta aprobación está sujeta a que el sistema de gestión se mantenga conforme con los requisitos especificados, lo cual será verificado por ICONTEC
This approval is subject to the maintenance of the management system in conformity with the specified requirements, which will be verified by ICONTEC

Código Certificado SGBC-CER820874
Certificate code

Fecha de aprobación inicial: 2021 01 29
Initial approval Date:

Fecha última actualización: 2025 02 12
Last updating date:

Fecha de Vencimiento: 2027 01 08
Expiration date:

Roberto Enrique Montoya Villa
Director Ejecutivo -CEO

F-PS-05/05 Versión 01

Página 1 de 1

Este certificado es propiedad de ICONTEC, ubicada en la Calle 24A No. 59 - 35, Edificio Elemento, torre 4, piso 9 y 10, Bogotá D.C., Colombia

Nota: Este reconocimiento evidencia la consolidación de las estrategias institucionales de economía circular y gestión integral de residuos, contribuyendo a la reducción de impactos ambientales y al fortalecimiento de la sostenibilidad multicampus. Adaptado de ICONTEC (2025).

Certificación Carbono Neutro Multicampus

La Universidad Pontificia Bolivariana obtuvo la Certificación de Carbono Neutro otorgada por ICONTEC para todas sus sedes e instalaciones, validando la implementación de una política institucional de descarbonización y de un programa para la gestión de emisiones de gases de efecto invernadero (ICONTEC, 2026a).

Figura 2. Certificación Carbono Neutro Multicampus otorgada por ICONTEC a la Universidad Pontificia Bolivariana



icontec

Carbono Neutro Certificado

CERTIFICADO DE CARBONO NEUTRO

ICONTEC certifica que las especificaciones para la CERTIFICACIÓN DE CARBONO NEUTRO durante el periodo comprendido entre el 2025/01/01 al 2025/12/31, de la organización:

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

Ver anexo en página 2

En relación a todas sus sedes e instalaciones (alcance organizacional total):

Han sido evaluadas y aprobadas con respecto a los requisitos exigidos en el:

E-PS-0187 PROTOCOLO DE PROCESOS DE DESCARBONIZACIÓN Y/O DESCRIBIR CRITERIO APLICABLE

Este certificado reconoce el compromiso y la definición de una política de descarbonización y el desarrollo de un programa para la gestión de las emisiones de Gases Efecto Invernadero, resultantes de la cuantificación de estas, por parte de la organización UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, con el propósito de gestionar progresivamente sus emisiones de GEI, en desarrollo de su proceso de descarbonización.

Todo el proceso desarrollado cumple con los principios de: integridad, transparencia, pertinencia, coherencia y exactitud.

Código de Certificado: CER-CCN-2026-99168

Fecha de aprobación inicial: 30/04/2026
Fecha de Vencimiento: 29/04/2029

F-PS-1050
Versión 00

Jimena Samper Muñoz
Gerente de Validación y Verificación

Página 1 de 2

Nota. La certificación reconoce la implementación de procesos de medición, reducción y compensación de emisiones de gases de efecto invernadero, respaldando la consolidación del modelo Carbono Neutro Multicampus. Adaptado de ICONTEC (2026).

Certificación Cero Emisiones Netas – En Desarrollo

Como parte de la evolución de su estrategia climática, la Universidad recibió la Certificación Cero Emisiones Netas – En Desarrollo, reconocimiento que acredita la implementación de una política institucional orientada a la reducción progresiva de emisiones y al fortalecimiento de los procesos de descarbonización (ICONTEC, 2026b).

Figura 3. Certificación Cero Emisiones Netas – En Desarrollo otorgada por ICONTEC a la Universidad Pontificia Bolivariana



icontec

Plan de Gestión Carbono Cero Neto

CERTIFICADO DE CERO EMISIONES NETAS - EN DESARROLLO

ICONTEC certifica que las especificaciones para la CERTIFICACIÓN DE CERO EMISIONES NETAS - EN DESARROLLO durante el periodo comprendido entre el 2025/01/01 al 2025/12/31, de la organización:

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

Ver anexo en página 2

En relación a todas sus sedes e instalaciones (alcance organizacional total):

Han sido evaluadas y aprobadas con respecto a los requisitos exigidos en el:

E-PS-0187 PROTOCOLO DE PROCESOS DE DESCARBONIZACIÓN Y/O DESCRIBIR CRITERIO APLICABLE

Este certificado reconoce el compromiso y la definición de una política de descarbonización y el desarrollo de un programa para la gestión de las emisiones de Gases Efecto Invernadero, resultantes de la cuantificación de estas, por parte de la organización UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA, con el propósito de gestionar progresivamente sus emisiones de GEI, en desarrollo de su proceso de descarbonización.

Todo el proceso desarrollado cumple con los principios de: integridad, transparencia, pertinencia, coherencia y exactitud.

Código de Certificado: CER-CPGCEN-2026-9916B

Fecha de aprobación inicial: 30/04/2026
Fecha de Vencimiento: 29/04/2029

F-PS-1050
Versión 00

Jimena Samper Muñoz
Gerente de Validación y Verificación

Página 1 de 2

Nota. Este reconocimiento evidencia el compromiso institucional con una hoja de ruta de descarbonización alineada con los principios de las estrategias Net Zero y con la meta de reducción progresiva de emisiones de gases de efecto invernadero. Adaptado de ICONTEC (2026).

Visibilidad y reconocimiento internacional

La efectividad de la estrategia UPB Sostenible ha sido respaldada por diferentes indicadores y rankings internacionales relacionados con sostenibilidad, impacto ambiental y gobernanza. La Universidad participa activamente en ejercicios de rendición de cuentas mediante la publicación periódica de reportes de sostenibilidad y la adopción de estándares reconocidos internacionalmente.

Estos resultados han contribuido al posicionamiento de la UPB como una de las instituciones de educación superior con mayor liderazgo en sostenibilidad en Colombia y América Latina, fortaleciendo su visibilidad nacional e internacional en temas relacionados con desarrollo sostenible, gestión climática e innovación institucional (Universidad Pontificia Bolivariana, 2024, 2025).

4. Conclusiones

Los resultados obtenidos evidencian que la sostenibilidad puede convertirse en un eje estratégico de transformación institucional. Desde la implementación de la estrategia UPB Sostenible en 2017, la Universidad ha consolidado un modelo multicampus basado en la regeneración, la resiliencia, el liderazgo consciente y el interés colectivo.

Los avances alcanzados reflejan resultados significativos en la gestión del cambio climático y la descarbonización de las operaciones universitarias. La reducción de la huella de carbono de 2.972,90 tCO_2e en 2024 a 2.292,16 tCO_2e en 2025, equivalente a una disminución del 22,9 %, demuestra la efectividad de las estrategias implementadas en materia de eficiencia energética, energías renovables, movilidad sostenible, gestión de residuos y optimización de recursos.

La validación externa obtenida mediante las certificaciones Basura Cero Categoría Oro, Carbono Neutro Multicampus y Cero Emisiones Netas – En Desarrollo constituye una evidencia objetiva del nivel de madurez alcanzado por los sistemas de gestión implementados. Estos reconocimientos respaldan los resultados ambientales obtenidos y reflejan el compromiso institucional con la mejora continua y la sostenibilidad.

La evolución de la Universidad desde un modelo de carbono neutralidad hacia una estrategia de cero emisiones netas representa un cambio significativo en la forma de abordar la acción climática. Más allá de la compensación de emisiones, la hoja de ruta institucional orienta sus esfuerzos hacia reducciones estructurales y progresivas alineadas con los desafíos globales de mitigación del cambio climático.

Finalmente, esta experiencia evidencia que la sostenibilidad puede convertirse en un eje estratégico de transformación institucional cuando se integra en la gobernanza, la planeación y la cultura organizacional. Asimismo, demuestra que las instituciones de educación superior pueden liderar procesos efectivos de acción climática y descarbonización, contribuyendo no solo a la reducción de impactos ambientales, sino también a la construcción de territorios más resilientes y sostenibles.

Agradecimientos

A la Universidad Pontificia Bolivariana, al programa UPB Sostenible, a los equipos académicos y administrativos multicampus y a ICONTEC por su acompañamiento en los procesos de verificación, certificación y fortalecimiento de la gestión de sostenibilidad.

Bibliografía

ICONTEC. (2025). Certificación Basura Cero Categoría Oro. Universidad Pontificia Bolivariana. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (2026a). Certificación Carbono Neutro Multicampus. Universidad Pontificia Bolivariana. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

ICONTEC. (2026b). Certificación Cero Emisiones Netas – En Desarrollo. Universidad Pontificia Bolivariana. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

Osorio, A. M., Úsuga, L. F., Vásquez, R. E., Nieto-Londoño, C., Rinaudo, M. E., Martínez, J. A., & Leal Filho, W. (2022). Towards Carbon Neutrality in Higher Education Institutions: Case of Two Private Universities in Colombia. Sustainability, 14(3), 1774. https://doi.org/10.3390/su14031774.

Universidad Pontificia Bolivariana. (2022). Reporte de sostenibilidad UPB Multicampus 2022.

Universidad Pontificia Bolivariana. (2023). Reporte de sostenibilidad UPB Multicampus 2023.

Universidad Pontificia Bolivariana. (2024). Reporte de sostenibilidad UPB Multicampus 2024.

Universidad Pontificia Bolivariana. (2025). Reporte de sostenibilidad UPB Multicampus 2025.

Transformación de la prevención laboral mediante inteligencia artificial: modelo predictivo basado en la teoría de los dos factores de Frederick Herzberg aplicado a una ART

Julio Sampaolesi
Grupo Asegurador La Segunda · La Segunda ART
jsampaolesi@lasegunda.com.ar

Abstract

La prevención de accidentes laborales dentro del sistema de Riesgos del Trabajo continúa basándose predominantemente en modelos reactivos orientados al análisis de eventos ya ocurridos y a la identificación de causas técnicas visibles. Sin embargo, una proporción significativa de los accidentes laborales posee origen en factores humanos y organizacionales que actualmente no son integrados de forma sistemática en los modelos preventivos tradicionales. El presente trabajo propone un modelo preventivo predictivo basado en Inteligencia Artificial (IA) combinado con la Teoría de los Dos Factores de Frederick Herzberg, con el objetivo de anticipar situaciones de riesgo laboral antes de la ocurrencia del accidente. La propuesta integra información histórica de siniestralidad, variables operativas y factores humanos vinculados con motivación, clima laboral, rotación, capacitación, reconocimiento y carga de trabajo, permitiendo construir un índice predictivo de riesgo aplicable a empresas aseguradas. El sistema utiliza algoritmos de machine learning para identificar patrones complejos asociados a incrementos en la probabilidad de accidentes, generando alertas tempranas y recomendaciones preventivas automáticas. El trabajo demuestra que la incorporación de variables humanas y motivacionales dentro de modelos predictivos puede fortalecer significativamente el rol preventivo de las ART, optimizar la asignación de recursos técnicos y contribuir a una reducción sostenible de la siniestralidad laboral.

Learning; Herzberg; ART

Palabras Clave

Inteligencia Artificial; Prevención Predictiva; Factores Humanos; Seguridad Laboral; Machine

1. Introducción

La transformación digital está modificando profundamente la forma en que las organizaciones gestionan sus procesos, incorporando herramientas basadas en análisis de datos e Inteligencia Artificial (IA) para optimizar la toma de decisiones. En el ámbito de la Seguridad

y Salud en el Trabajo (SST), estas tecnologías representan una oportunidad para evolucionar desde modelos preventivos reactivos, sustentados en el análisis de accidentes ocurridos, hacia enfoques predictivos capaces de anticipar situaciones de riesgo antes de que se materialicen.

En la actualidad, las Aseguradoras de Riesgos del Trabajo (ART) desarrollan sus estrategias preventivas principalmente a partir del análisis histórico de la siniestralidad, el cumplimiento normativo, las inspecciones técnicas y la identificación de condiciones inseguras. Si bien estas herramientas han demostrado ser fundamentales para mejorar los niveles de seguridad, presentan limitaciones para detectar factores de riesgo vinculados con el comportamiento humano, la organización del trabajo y las condiciones psicosociales que preceden a la ocurrencia de un accidente.

Diversos modelos desarrollados en el campo de la seguridad industrial, como el Modelo de Accidentes Organizacionales de James Reason y el Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), sostienen que los accidentes no constituyen hechos aislados, sino la manifestación final de una sucesión de condiciones latentes presentes dentro de la organización. Entre ellas se destacan la fatiga, la sobrecarga laboral, las deficiencias en la comunicación, la supervisión inadecuada, el liderazgo, la organización del trabajo y otros factores humanos que influyen directamente sobre la probabilidad de ocurrencia de eventos no deseados.

En este contexto, la Teoría de los Dos Factores de Frederick Herzberg ofrece un marco conceptual particularmente valioso para comprender la relación entre el entorno laboral y el comportamiento de las personas. Herzberg distingue dos grupos de variables: los factores higiénicos, vinculados con las condiciones de trabajo, las políticas organizacionales, la supervisión y las relaciones interpersonales; y los factores motivadores, asociados al reconocimiento, la responsabilidad, el desarrollo profesional y el sentido de logro. Mientras los primeros reducen la insatisfacción laboral cuando se encuentran adecuadamente gestionados, los segundos favorecen el compromiso, la participación y la adopción de conductas seguras.

Desde la perspectiva de la Inteligencia Artificial, estas dimensiones representan una oportunidad para ampliar el conjunto de variables utilizadas por los modelos predictivos tradicionales. La transformación de factores humanos y organizacionales en indicadores cuantificables permite incorporar información que habitualmente no forma parte de las bases de datos de siniestralidad, enriqueciendo el análisis y posibilitando la identificación de

patrones complejos asociados al riesgo.

El aporte innovador de este proyecto radica precisamente en la integración de la Teoría de los Dos Factores de Herzberg con técnicas de Machine Learning aplicadas a la prevención de accidentes laborales. A diferencia de los enfoques convencionales, que basan sus predicciones exclusivamente en información histórica de accidentes, la propuesta incorpora variables relacionadas con la motivación, el clima laboral, el reconocimiento, la organización del trabajo y otros factores humanos, con el propósito de construir un modelo predictivo más representativo de la realidad organizacional.

El presente trabajo presenta el diseño conceptual de un proyecto de innovación tecnológica orientado al desarrollo de un sistema inteligente de apoyo a la gestión preventiva de las ART. La propuesta contempla la integración de información histórica de siniestralidad, variables operativas y factores humanos para la construcción de un Índice de Riesgo Dinámico (IRd), destinado a estimar la probabilidad relativa de ocurrencia de accidentes laborales y facilitar la priorización de intervenciones preventivas.

Se plantea como hipótesis que la incorporación de variables humanas y organizacionales derivadas de la Teoría de los Dos Factores de Herzberg dentro de modelos de Inteligencia Artificial incrementará la capacidad predictiva para identificar escenarios de riesgo laboral respecto de los modelos preventivos tradicionales basados exclusivamente en indicadores históricos de siniestralidad.

En consecuencia, el objetivo general del proyecto consiste en diseñar una arquitectura metodológica que sirva como base para el desarrollo futuro de un modelo predictivo aplicable al Sistema de Riesgos del Trabajo argentino, contribuyendo a fortalecer el rol preventivo de las ART mediante el uso de herramientas analíticas capaces de anticipar riesgos, optimizar la asignación de recursos y mejorar la toma de decisiones basada en evidencia.

2. Metodología

El presente trabajo propone una arquitectura metodológica para el desarrollo de un modelo predictivo orientado a fortalecer la gestión preventiva de las Aseguradoras de Riesgos del Trabajo (ART) mediante la integración de Inteligencia Artificial (IA) y factores humanos basados en la Teoría de los Dos Factores de Frederick Herzberg.

La metodología fue concebida como una prueba de concepto y establece las bases para el desarrollo de un sistema capaz de integrar información histórica de siniestralidad, variables operativas y factores organizacionales, con el propósito de generar un Índice de Riesgo

Dinámico (IRd) que permita estimar la probabilidad relativa de ocurrencia de accidentes laborales.

Para ello, la arquitectura propuesta se estructura en cuatro etapas secuenciales: adquisición e integración de datos, ingeniería de características, modelado predictivo y generación de alertas preventivas. Cada una de estas etapas constituye un componente esencial para la construcción de un sistema inteligente orientado a asistir la toma de decisiones preventivas.

Adquisición, integración y anonimización de datos

La primera etapa del proyecto contempla la integración de diferentes fuentes de información disponibles dentro del ecosistema de una ART.

Como fuente principal se consideran las bases históricas de siniestralidad, incluyendo variables tales como frecuencia de accidentes, días caídos, diagnóstico de lesiones, agente material, establecimiento, actividad económica, puesto de trabajo y demás indicadores utilizados habitualmente en la gestión preventiva.

Con el objetivo de incorporar dimensiones vinculadas al comportamiento organizacional, el proyecto propone complementar esta información mediante Encuestas de Pulso de aplicación periódica, elaboradas a partir de conceptos del Minnesota Satisfaction Questionnaire (MSQ) y de la metodología Gallup Q12. Estas herramientas permitirán obtener indicadores relacionados con motivación, reconocimiento, liderazgo, comunicación, carga de trabajo, percepción del clima laboral y autonomía para la realización segura de las tareas.

La integración de ambas fuentes de información se realizará mediante procesos de anonimización y consolidación de datos, garantizando el cumplimiento de la Ley N.º 25.326 de Protección de Datos Personales de la República Argentina. En consecuencia, el modelo trabajará exclusivamente con información agregada, sin almacenar datos personales identificatorios de los trabajadores.

Ingeniería de características

Una vez consolidada la información, el proyecto propone transformar las variables técnicas y organizacionales en un conjunto homogéneo de indicadores cuantificables que puedan ser procesados por algoritmos de Machine Learning.

En esta etapa, los factores definidos por Herzberg serán representados mediante variables proxy obtenidas a partir de indicadores objetivos y subjetivos.

Los factores higiénicos podrán incluir, entre otros: condiciones de trabajo; cumplimiento de programas de mantenimiento; carga horaria y horas extraordinarias; rotación del personal; ausentismo; resultados de mediciones ambientales; estabilidad de los equipos de trabajo.

Por su parte, los factores motivadores podrán representarse mediante indicadores relacionados con: reconocimiento por conductas seguras; autonomía para detener tareas inseguras; participación en actividades preventivas; cobertura de capacitaciones; desarrollo profesional; percepción del liderazgo.

La transformación de estas variables permitirá construir una matriz de datos capaz de representar simultáneamente las condiciones técnicas y humanas de cada establecimiento, ampliando el conjunto de variables habitualmente utilizadas en los modelos preventivos tradicionales.

Modelado predictivo

La tercera etapa contempla el desarrollo de un modelo supervisado de Inteligencia Artificial orientado a estimar la probabilidad relativa de ocurrencia de accidentes laborales.

Como punto de partida, se propone evaluar el desempeño de algoritmos como Random Forest y XGBoost, ampliamente utilizados en problemas de clasificación debido a su capacidad para identificar relaciones no lineales entre múltiples variables y manejar grandes volúmenes de información estructurada.

El entrenamiento del modelo utilizará como variable objetivo la ocurrencia de accidentes laborales y como variables explicativas la combinación de indicadores históricos de siniestralidad, variables operativas y factores humanos derivados de la Teoría de Herzberg.

El desempeño del modelo será evaluado durante futuras etapas de implementación mediante métricas específicas de aprendizaje automático, tales como precisión (precision), sensibilidad (recall), valor F1 y área bajo la curva ROC (AUC-ROC), con el propósito de seleccionar la arquitectura predictiva que ofrezca el mejor equilibrio entre capacidad predictiva e interpretabilidad.

Índice de Riesgo Dinámico (IRd) y generación de alertas preventivas

Como resultado del procesamiento de la información, el proyecto propone el desarrollo de un Índice de Riesgo Dinámico (IRd), concebido como un indicador sintético destinado a estimar el nivel relativo de riesgo de cada establecimiento o sector de trabajo.

El IRd integrará variables históricas de siniestralidad, indicadores operativos y factores humanos en una única puntuación que facilitará la priorización de intervenciones preventivas.

Con fines operativos, el modelo contempla tres niveles de clasificación:

• Riesgo Bajo (Verde): seguimiento preventivo habitual y monitoreo periódico.

• Riesgo Moderado (Amarillo): fortalecimiento del seguimiento mediante acciones preventivas específicas.

• Riesgo Alto (Rojo): priorización inmediata de auditorías, asistencia técnica y elaboración de planes de intervención preventiva.

La calibración definitiva de los umbrales del IRd constituirá una etapa posterior del proyecto y dependerá de los resultados obtenidos durante las pruebas piloto y del análisis de desempeño del modelo.

Arquitectura funcional del proyecto

La arquitectura propuesta contempla un proceso de mejora continua en el cual la información generada durante las intervenciones preventivas retroalimenta permanentemente al modelo predictivo, favoreciendo su aprendizaje progresivo y aumentando su capacidad de anticipación.

El flujo funcional del proyecto puede resumirse de la siguiente manera:

Empresas aseguradas → Base histórica de siniestros + Encuestas de Pulso + Variables operativas → Procesamiento mediante Inteligencia Artificial → Cálculo del Índice de Riesgo Dinámico (IRd) → Generación de alertas preventivas → Intervención del profesional de la ART → Implementación de medidas preventivas → Incorporación de nuevos datos al modelo.

Esta arquitectura convierte al sistema en un proceso dinámico de aprendizaje continuo, donde cada intervención preventiva aporta información que contribuye al perfeccionamiento del modelo y a la mejora progresiva de su capacidad predictiva.

3. Resultados y discusión de resultados

Resultados esperados del modelo predictivo

El presente proyecto propone el desarrollo de un modelo predictivo basado en Inteligencia Artificial capaz de integrar información histórica de siniestralidad, variables operativas y factores humanos para estimar el nivel de riesgo preventivo de establecimientos asegurados por una ART.

A diferencia de los modelos tradicionales, cuyo análisis se fundamenta principalmente en indicadores históricos de accidentes, la propuesta incorpora variables derivadas de la Teoría de los Dos Factores de Frederick Herzberg, permitiendo enriquecer la capacidad predictiva mediante la inclusión de dimensiones organizacionales y motivacionales.

Como resultado esperado, el modelo generará un Índice de Riesgo Dinámico (IRd) que sintetizará en un único indicador el comportamiento conjunto de los principales factores asociados al riesgo laboral.

El IRd permitirá clasificar los establecimientos según su criticidad preventiva, facilitando la

priorización de auditorías, la planificación de acciones correctivas y la optimización de los recursos destinados a la gestión preventiva.

Propuesta conceptual del Índice de Riesgo Dinámico (IRd)

Como aporte metodológico del proyecto, se propone una formulación conceptual del Índice de Riesgo Dinámico (IRd), orientada a integrar en una única expresión matemática los distintos componentes que influyen sobre la probabilidad de ocurrencia de accidentes laborales.

En términos conceptuales, el índice podrá expresarse como:

$$IR_d = \alpha \cdot RT + \beta \cdot FH - \gamma \cdot FM$$

RT = Riesgo Técnico (frecuencia, gravedad, días caídos, antecedentes de accidentes, agentes materiales, entre otros).

FH = Factores Higiénicos (condiciones de trabajo, carga horaria, rotación, ausentismo, mantenimiento, relaciones laborales).

FM = Factores Motivadores (reconocimiento, liderazgo, autonomía, capacitación, desarrollo profesional y compromiso).

α, β y γ = coeficientes de ponderación que serán determinados durante la etapa de entrenamiento y validación del modelo.

Desde el punto de vista conceptual, el modelo asume que el incremento del riesgo técnico y el deterioro de los factores higiénicos aumentan la probabilidad de ocurrencia de accidentes, mientras que el fortalecimiento de los factores motivadores actúa como un elemento protector,

reduciendo el nivel de riesgo estimado.

La calibración de los coeficientes será realizada durante futuras etapas de validación mediante técnicas de aprendizaje automático y análisis estadístico.

Clasificación propuesta del riesgo preventivo

A partir del valor obtenido para el Índice de Riesgo Dinámico, el proyecto propone una clasificación operativa en tres niveles de criticidad:

Banda del IRd	Estado del Sector	Acción preventiva
IRd < 3.5	🟢 Verde (Riesgo Bajo)	Seguimiento preventivo habitual y monitoreo periódico.
3.5>IRd<6.5	🟡 Amarillo (Riesgo Moderado)	Revisión de procesos, fortalecimiento del seguimiento y planificación de acciones preventivas específicas.
IRd > 6.5	🔴 Rojo (Riesgo Crítico)	Priorización inmediata de auditorías, asistencia técnica y elaboración de planes de intervención preventiva.

Tabla 1. Matriz de Estados de Alerta y Protocolos Automatizados de Contingencia

Estos umbrales constituyen una propuesta metodológica inicial y deberán ajustarse durante la implementación del proyecto mediante el análisis del desempeño del modelo en diferentes actividades económicas.

Caso de aplicación conceptual

Con el objetivo de ilustrar el funcionamiento del modelo, se plantea un caso de aplicación conceptual sobre un establecimiento que presenta elevados indicadores históricos de siniestralidad.

En este escenario, el sistema integraría información correspondiente a la frecuencia de accidentes, días caídos, tipo de lesiones, horas extraordinarias, rotación del personal, ausentismo y resultados de las Encuestas de Pulso.

El análisis conjunto de estas variables permitiría identificar patrones de riesgo que podrían pasar inadvertidos mediante los métodos tradicionales de prevención. Por ejemplo, la coexistencia de un incremento sostenido de horas extraordinarias, elevados niveles de fatiga percibida y una disminución de los indicadores de reconocimiento laboral podría interpretarse como una condición organizacional capaz de incrementar la probabilidad de ocurrencia de accidentes.

En consecuencia, el establecimiento recibiría una mayor puntuación en el Índice de Riesgo

Dinámico, orientando la planificación de intervenciones preventivas antes de que ocurra un evento no deseado.

Discusión

El principal aporte de este proyecto no radica únicamente en la utilización de Inteligencia Artificial, sino en la incorporación sistemática de factores humanos y organizacionales dentro de un modelo predictivo aplicado a la prevención de riesgos laborales.

Mientras que los enfoques tradicionales concentran su análisis en información histórica de siniestralidad, la propuesta incorpora indicadores relacionados con el comportamiento organizacional, ampliando el conjunto de variables disponibles para la toma de decisiones.

La integración de la Teoría de los Dos Factores de Frederick Herzberg con algoritmos de Machine Learning constituye una innovación metodológica que permite vincular conceptos provenientes de la psicología organizacional con herramientas avanzadas de analítica predictiva.

En este sentido, la Inteligencia Artificial deja de ser un fin en sí misma para convertirse en un instrumento destinado a fortalecer la gestión preventiva, optimizar la asignación de recursos y asistir al profesional de Higiene y Seguridad en la identificación temprana de escenarios de riesgo.

LIMITACIONES DEL PROYECTO

Como toda propuesta de innovación tecnológica, el presente proyecto presenta limitaciones que deberán ser abordadas durante las etapas de desarrollo e implementación.

La principal limitación radica en la disponibilidad y calidad de la información utilizada para el entrenamiento del modelo. Si bien las ART cuentan con amplias bases históricas de siniestralidad, actualmente existe una limitada disponibilidad de datos estructurados relacionados con factores humanos y organizacionales, lo que hace necesaria la incorporación de nuevas fuentes de información, como las Encuestas de Pulso propuestas en este trabajo.

Asimismo, el modelo conceptual deberá ser validado mediante experiencias piloto que permitan ajustar los coeficientes del Índice de Riesgo Dinámico (IRd) y evaluar su desempeño en distintos sectores productivos, tamaños de empresa y contextos organizacionales.

Otra limitación está vinculada con la aceptación organizacional de este tipo de herramientas. La incorporación de modelos basados en Inteligencia Artificial requerirá procesos de capacitación, adaptación tecnológica y generación de confianza por parte de los distintos actores involucrados.

Finalmente, se destaca que el modelo propuesto constituye una herramienta de apoyo para la toma de decisiones preventivas y no reemplaza el análisis técnico ni el criterio profesional de los especialistas en Higiene y Seguridad.

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

Con el objetivo de facilitar la incorporación progresiva del modelo dentro de una ART, se propone una estrategia de implementación organizada en seis etapas.

• Etapa 1 – Integración de datos. Consolidación de la información histórica de siniestralidad y de las variables operativas disponibles.

• Etapa 2 – Incorporación de factores humanos. Implementación de Encuestas de Pulso y construcción de indicadores basados en la Teoría de los Dos Factores de Herzberg.

• Etapa 3 – Desarrollo del modelo predictivo. Entrenamiento y calibración de algoritmos de Machine Learning utilizando información anonimizada.

• Etapa 4 – Prueba piloto. Aplicación del modelo en un conjunto reducido de empresas aseguradas para evaluar su comportamiento y capacidad predictiva.

• Etapa 5 – Validación. Comparación entre las predicciones generadas por el sistema y la evolución real de los indicadores de siniestralidad, ajustando el modelo según los resultados obtenidos.

• Etapa 6 – Escalabilidad. Incorporación progresiva del sistema dentro de la gestión preventiva de la ART y ampliación de su utilización a diferentes actividades económicas.

Esta estrategia permitirá desarrollar el proyecto de manera gradual, reduciendo riesgos de implementación y favoreciendo la mejora continua del modelo.

IMPACTO ESPERADO

La implementación del modelo propuesto podría generar beneficios para los diferentes actores del Sistema de Riesgos del Trabajo.

Para las ART:

• Mejor priorización de empresas y establecimientos según riesgo predictivo.

• Optimización de la planificación de auditorías preventivas.

• Uso más eficiente de los recursos técnicos.

• Fortalecimiento de la gestión basada en datos.

• Potencial reducción de la siniestralidad y de los costos asociados a prestaciones médicas y litigiosidad.

Para las empresas aseguradas

• Identificación temprana de factores de riesgo.

• Mejora del clima organizacional.

• Fortalecimiento de la cultura preventiva.

• Optimización de programas de capacitación.

• Reducción del impacto económico derivado de los accidentes laborales.

Para los trabajadores

• Mayor protección de la salud y la seguridad.

• Intervenciones preventivas anticipadas.

• Participación mediante Encuestas de Pulso.

• Entornos laborales más seguros y saludables.

En conjunto, estos beneficios podrían contribuir a una gestión preventiva más eficiente, basada en evidencia y orientada a la anticipación del riesgo.

4. Conclusiones

La evolución de la Seguridad y Salud en el Trabajo demanda herramientas que permitan complementar los enfoques preventivos tradicionales mediante el uso de tecnologías capaces de anticipar escenarios de riesgo antes de la ocurrencia de accidentes. En este contexto, el presente trabajo propone un proyecto de innovación orientado al desarrollo de un modelo predictivo basado en Inteligencia Artificial que integra variables técnicas, organizacionales y humanas derivadas de la Teoría de los Dos Factores de Frederick Herzberg.

La principal contribución de la propuesta consiste en incorporar factores humanos y organizacionales al análisis predictivo de la siniestralidad laboral, ampliando el conjunto de variables habitualmente utilizadas por las ART. Esta integración busca fortalecer la capacidad de anticipación de la gestión preventiva, proporcionando información objetiva que facilite la priorización de intervenciones y la asignación eficiente de recursos.

El modelo conceptual plantea que aspectos como las condiciones de trabajo, la organización, la motivación, el reconocimiento y el desarrollo de las personas pueden transformarse en indicadores cuantificables y ser analizados mediante técnicas de Machine Learning para estimar la probabilidad relativa de ocurrencia de accidentes laborales.

Como toda propuesta de investigación aplicada, el proyecto requerirá etapas posteriores de desarrollo tecnológico, validación experimental y pruebas piloto que permitan evaluar su desempeño en diferentes actividades económicas y ajustar progresivamente sus parámetros predictivos.

La Inteligencia Artificial no reemplaza el conocimiento, la experiencia ni el criterio profesional del especialista en Higiene y Seguridad. Por el contrario, se propone como una herramienta de apoyo para fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia, optimizar la planificación preventiva y contribuir a la construcción de entornos laborales más seguros.

Finalmente, este trabajo pretende abrir una nueva línea de investigación sobre la aplicación de la Inteligencia Artificial en el Sistema de Riesgos del Trabajo, promoviendo la integración entre ingeniería, ciencia de datos, psicología organizacional y gestión preventiva. Su desarrollo futuro podría representar un aporte significativo para la evolución de los modelos de prevención hacia enfoques cada vez más proactivos, inteligentes y centrados en las personas.

"La prevención del futuro no dependerá únicamente de conocer por qué ocurrieron los accidentes, sino de desarrollar la capacidad para identificar, interpretar y gestionar las señales que anticipan su ocurrencia. En ese desafío, la integración entre Inteligencia Artificial, factores humanos y conocimiento profesional puede constituir una nueva herramienta para fortalecer la misión preventiva de las Aseguradoras de Riesgos del Trabajo."

USO DE HERRAMIENTAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Durante la elaboración del presente trabajo se utilizaron herramientas de Inteligencia Artificial Generativa, entre ellas ChatGPT, Claude y Google Gemini, como apoyo para la organización de contenidos, revisión de la redacción, mejora de la estructura del manuscrito, análisis metodológico y asistencia en la revisión bibliográfica.

La conceptualización del proyecto, la formulación de la hipótesis, la definición de la metodología, la interpretación técnica y las conclusiones presentadas corresponden exclusivamente al autor.

Agradecimientos

El autor expresa su agradecimiento al Grupo Asegurador La Segunda y a La Segunda ART por promover la innovación y la mejora continua en la gestión preventiva, generando un ámbito propicio para el desarrollo de nuevas iniciativas orientadas a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores.

Asimismo, agradece a sus colegas y profesionales de Prevención Integral de Riesgos Laborales por el intercambio permanente de experiencias y conocimientos, que contribuyeron

a enriquecer la presente propuesta.

Finalmente, agradece a su familia por el apoyo, la confianza y el acompañamiento brindados durante el desarrollo de este proyecto.

Bibliografía

• Breiman, L. (2001). Random Forests. Machine Learning, 45(1), 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

• Chen, T., y Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. En Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 785-794). https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

• Gallup. (2023). Gallup Q12® Meta-Analysis Report. Gallup Organization.

• Herzberg, F. (1966). Work and the Nature of Man. World Publishing Company.

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

• Reason, J. (1990). Human Error. Cambridge University Press.

• Reason, J. (1997). Managing the Risks of Organizational Accidents. Ashgate.

• Russell, S., y Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach (4ª ed.). Pearson.

• Superintendencia de Riesgos del Trabajo. (2024). Normativa vigente y documentación técnica sobre prevención de riesgos laborales. Estado Argentino.

• Wiegmann, D. A., y Shappell, S. A. (2003). A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS). Ashgate.

Formate Mujer ISES: Inclusión femenina como estrategia innovadora para la gestión del riesgo público en el sector eléctrico colombiano

Flor Sánchez*

[a] Ingeniería y Soluciones Especializadas S.A.S. (ISES) | Proyecto SCRSUR | Air-e | SENA — Sabanalarga, Atlántico, Colombia

* Fsanchez@ises.com.co

Abstract

Objective: This paper analyses female inclusión, articulated with certified technical training and comprehensive OHS management, as an innovative and sustainable strategy for reducing public risk, strengthening preventive culture and advancing organisational sustainability in the Colombian electric utility sector. Specifically, the study pursues four objectives: (1) to evaluate the quantitative impact of the strategy on accident rates and the public-risk profile of the SCRSUR project; (2) to describe its effects on preventive culture and OHS system maturity within operational teams; (3) to document the socioeconomic transformation of participants through their own testimonials; and (4) to assess the programme's contribution to organisational sustainability and ISES's positioning as a responsible employer. The intervention responds to a critical public-risk problem: male field technicians performing electricity suspension activities were systematically exposed to physical and verbal aggression by non-compliant users, generating workplace accidents, psychological stress and sustained exposure to violent events. Rather than reinforcing conventional engineering controls, ISES pursued a structural innovation: the deliberate inclusion of women in frontline operational roles historically monopolised by men.

Methodology: A qualitative case study with quasi-experimental elements was applied, drawing on 160 registered events from the SCRSUR project database (November 2022 to May 2026) and on in-depth testimonials from programme graduates. thirty-one— heads of household, single mothers and economically vulnerable residents of the service coverage area — were recruited through a community-embedded selection process and enrolled in a nine-month SENA-certified technical programme integrating electrical installation, OHS and psychosocial competencies. Of these, 31 women successfully completed and obtained their SENA technical certification.

Results: The evidence is compelling. Workplace accidents fell from 23 (2023) to 7 (2025), a 70% reduction, while total events (accidents plus incidents) dropped from 59 to 23 (-61%). The weight of public-risk events on the total event profile declined from 60% (2022-2023) to 40% (2025-2026). Women graduates recorded a lower average of lost days per event (2.1 versus 2.4 for male colleagues). Beyond safety metrics, the programme generated documented socioeconomic transformation: participants transitioned from informal survival economies to stable, certified technical careers with intergenerational impact on their families.

Conclusions: Taken together, the quantitative data and testimonial evidence demonstrate that gender diversity in frontline OHS roles constitutes a preventive strategy with measurable, sustained impact on public-risk management, safety culture and organisational sustainability. Formate Mujer ISES offers a replicable model for Latin American organisations seeking to align inclusion, OHS innovation and social responsibility.

Resumen

Objetivo: Este articulo analiza la inclusión femenina, articulada con formación técnica certificada y gestión integral de SST, como estrategia innovadora y sostenible para la reducción del riesgo público, el fortalecimiento de la cultura preventiva y la sostenibilidad organizacional en el sector eléctrico colombiano. De manera específica, el estudio persigue cuatro objetivos: (1) evaluar el impacto cuantitativo de la estrategia sobre los indicadores de accidentalidad y el perfil de riesgo público del proyecto SCRSUR; (2) describir sus efectos sobre la cultura preventiva y la madurez del sistema de SST en los equipos operativos; (3) documentar la transformación socioeconómica de las participantes a través de sus propios testimonios; y (4) valorar la contribución del programa a la sostenibilidad organizacional y al posicionamiento de ISES como empleador responsable. La intervención responde a un problema critico de riesgo público: los técnicos de campo masculinos encargados de las suspensiones del servicio eléctrico eran sistemáticamente agredidos por usuarios inconformes, generando accidentalidad, estrés laboral y exposición sostenida a eventos violentos. En lugar de reforzar controles convencionales, ISES impulso una innovación estructural: la inclusión deliberada de mujeres en roles operativos de primera línea.

Metodología: Se aplico un estudio de caso con elementos cuasi-experimentales, sustentado en 160 eventos registrados en la base de datos histórica del proyecto SCRSUR (noviembre 2022 - mayo 2026) y en testimonios de graduadas del programa. Treinta y una mujeres— jefas de hogar, madres solteras y mujeres en condición de vulnerabilidad económica fueron seleccionadas mediante un proceso de reclutamiento, socialmente formadas durante nueve meses en un programa certificado por el SENA que integró competencias técnicas eléctricas, de SST y psicosociales. De ellas, 31 mujeres completaron satisfactoriamente el proceso y obtuvieron la certificación técnica del SENA.

Resultados: La evidencia es contundente. Los accidentes de trabajo cayeron de 23 (2023) a 7 (2025), una reducción del 70%, mientras el total de eventos (accidentes e incidentes) paso de 59 a 23 (-61%). El peso del riesgo público sobre el perfil total de eventos disminuyo del 60% (2022-2023) al 40% (2025-2026). Las graduadas registraron un menor promedio de días perdidos por evento (2,1 frente a 2,4 en sus colegas masculinos). Mas allá de los indicadores de SST, el programa genero una transformación socioeconómica documentada: las participantes transitaron de economías informales de supervivencia a trayectorias técnicas certificadas con impacto intergeneracional en sus familias.

Conclusiones: La evidencia cuantitativa y cualitativa demuestra que la diversidad de género en roles operativos de primera línea constituye una estrategia preventiva con impacto medible y sostenido en la gestión del riesgo público, la cultura de seguridad y la sostenibilidad organizacional. Formate Mujer ISES ofrece un modelo replicable para organizaciones latinoamericanas que busquen articular inclusión, innovación en SST y responsabilidad social.

Palabras Clave

Female inclusion; Public risk management; Occupational health and safety; Electric utility sector; Gender diversity; Preventive culture; Socioeconomic transformation; Employer branding Inclusión femenina; Riesgo público; Seguridad y Salud en el Trabajo; Sector eléctrico; Diversidad de genero; Cultura preventiva; Transformación socioeconómica; Employer branding

1. Introducción

El sector eléctrico colombiano constituye uno de los entornos laborales de mayor complejidad en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Mas allá de los riesgos técnicos inherentes al manejo de energía eléctrica, los trabajadores operativos de campo enfrentan de manera recurrente una tipología de riesgo que con frecuencia permanece subestimada en los sistemas de gestión: el riesgo público, entendido como la exposición a situaciones de violencia, agresión física, amenaza o intimidación por parte de terceros, generalmente usuarios inconformes con decisiones administrativas como la suspensión del servicio por mora en el pago.

En Colombia, donde la cultura del servicio público ha estado marcada históricamente por tensiones entre comunidades vulnerables y operadores del sistema, las actividades de corte y reconexión se han convertido en escenarios de alta conflictividad. Investigaciones regionales sobre violencia laboral en el sector de servicios públicos documentan que los técnicos operativos son uno de los grupos más expuestos a incidentes violentos durante la jornada laboral (Chappell y Di Martino, 2006; OIT, 2003). En America Latina, esta problemática se ve amplificada por factores socioeconómicos estructurales: concentración de pobreza, fragilidad institucional y percepción de injusticia ante la suspensión de servicios básicos.

Ingeniería y Soluciones Especializadas S.A.S. (ISES), empresa colombiana especializada en servicios de ingeniería y mantenimiento con certificaciones ISO 9001, ISO 45001 e ISO 14001, calificación RUC y reconocimiento por sus buenas prácticas en bienestar laboral, identificó esta problemática durante la ejecución del proyecto SCR SUR para Air-e S.A.S. E.S.P., empresa de servicios públicos domiciliarios responsable de la distribución y comercialización de energía eléctrica en la región Caribe colombiana. Como operador del sistema de distribución en su zona de influencia, Air-e presta el servicio de energía eléctrica a millones de usuarios residenciales, comerciales e industriales, desarrollando actividades de suspensión, reconexión, mantenimiento y normalización del servicio, escenarios en los que el personal operativo enfrenta una elevada exposición al riesgo público derivado de la interacción directa con usuarios inconformes. En este contexto, el análisis de la base de datos histórica del proyecto —160 eventos registrados entre noviembre de 2022 y mayo de 2026— evidenció que el riesgo público constituía la categoría predominante, responsable del 60 % del total de eventos durante el bienio 2022-2023. Los técnicos encargados de las suspensiones registraban eventos reiterados de agresión física y verbal, con consecuencias directas sobre la accidentalidad, el estrés laboral y la continuidad operativa.

La respuesta de ISES fue singular. En lugar de reforzar controles convencionales — escolta policial, barreras físicas o equipos de protección adicionales —, la organización diseño una estrategia que partía de una hipótesis no explorada: que la inclusión deliberada de mujeres en roles operativos de primera línea podría modificar estructuralmente la dinámica de confrontación con usuarios. Esta hipótesis no era azarosa. Evidencia acumulada en contextos de atención ciudadana y gestión de conflictos sugiere que las mujeres despliegan con mayor frecuencia competencias comunicativas que favorecen la desescalada de tensiones (Eagly y Carli, 2003; Hyde, 2014). Además, las normas culturales predominantes en las comunidades de la Costa Caribe colombiana inhiben socialmente la agresión física directa hacia mujeres (Prokos y Padavic, 2002).

El programa Formate Mujer ISES, implementado en alianza con el SENA, nació en la intersección de tres retos contemporáneos: la gestión innovadora del riesgo público, el cierre de brechas de género en ocupaciones históricamente masculinizadas y la construcción de modelos de trabajo sostenibles con impacto social real. Este articulo documenta, analiza y reflexiona sobre esa experiencia a partir de evidencia cuantitativa verificable y de los propios testimonios de sus protagonistas. En palabras del lema del XXVI Congreso Internacional ORP

2026: el futuro del trabajo se escribe hoy — y Formate Mujer ISES es, precisamente, ese tipo de escritura.

Objetivos del estudio

El objetivo general de este estudio es analizar la inclusión femenina, articulada con formación técnica certificada y gestión integral de SST, como estrategia innovadora y sostenible para la reducción del riesgo público, la transformación de la cultura preventiva y la sostenibilidad organizacional en el sector eléctrico colombiano.

Los objetivos específicos son los siguientes:

OE1. Evaluar el impacto cuantitativo de la estrategia sobre los indicadores de accidentalidad (frecuencia, severidad y total de eventos) y sobre el perfil de riesgo público del proyecto SCR SUR (nov. 2022 - may. 2026).

OE2. Describir los efectos de la intervención sobre la cultura preventiva y la madurez del sistema de SST en los equipos operativos de campo.

OE3. Documentar la transformación socioeconómica de las participantes del programa a partir del análisis de sus propios testimonios, identificando mecanismos de movilidad social y ruptura de ciclos de vulnerabilidad.

OE4. Valorar la contribución del programa a la sostenibilidad organizacional de ISES y a su posicionamiento como empleador responsable ante sus grupos de interés.

2. Metodología

El presente trabajo adopta un diseño de métodos mixtos que combina un estudio de caso único con elementos cuasi-experimentales (Yin, 2018) y análisis de contenido cualitativo de testimonios. La triangulación de fuentes — base de datos cuantitativa de eventos de SST, observaciones de campo e información cualitativa proveniente de las propias participantes — fortalece la validez interna de los hallazgos y responde a la naturaleza multidimensional del fenómeno estudiado.

Fuentes de datos cuantitativos

La fuente primaria de datos cuantitativos es la base de datos histórica del proyecto SCR SUR, que registra 160 eventos de SST (accidentes e incidentes) ocurridos entre noviembre de 2022 y mayo de 2026. Los datos fueron recopilados sin modificaciones por el sistema de gestión de SST de ISES y cubren la totalidad del ciclo de intervención: línea base previa al programa, fase de formación y fase de operación plena. Las comparaciones principales se realizan entre 2023 — el año de mayor accidentalidad del proyecto y primer año de implementación de la estrategia — y 2025, primer año de operación plena de las técnicas electricistas.

Fuentes de datos cualitativos

Las fuentes cualitativas incluyen testimonios de graduadas del programa recopilados mediante entrevistas semiestructuradas. Los relatos fueron analizados mediante análisis de contenido temático (Braun y Clarke, 2006), identificando tres categorías emergentes: punto de partida socioeconómico, impacto de la formación técnica y transformación de vida post-vinculación. Las participantes referenciadas en este articulo son identificadas por nombre — con su consentimiento — dado que sus testimonios son parte integrante de la evidencia del programa. Los testimonios fueron registrados en formato audiovisual y se encuentran disponibles en su integridad en el siguiente recurso de acceso abierto: ISES (2026), disponible en https://youtu.be/QMH00KJAKOE. Este recurso permite la verificación directa de los testimonios citados en la sección 3.3 del presente artículo.

Diseño de la intervención

La convocatoria fue focalizada en mujeres jefas de hogar, madres solteras y mujeres en condición de vulnerabilidad económica residentes en las zonas de cobertura del servicio eléctrico en Sabanalarga, Atlántico. La estrategia de reclutamiento fue deliberadamente diversificada: incluyó reclutamiento en frío en espacios públicos, distribución de volantes en zonas de cobertura, difusión en emisoras locales, y canales sociales como estados de WhatsApp y referencias de círculos comunitarios. Esta combinación de canales permitió llegar a mujeres que de otro modo no habrían considerado esta oportunidad. El proceso de reclutamiento y selección incluyó la evaluación de competencias básicas, entrevistas psicosociales y la verificación de los requisitos necesarios para el desempeño del rol operativo. Aunque se realizaron exámenes médicos ocupacionales, estos no formaron parte del proceso de reclutamiento ni de selección de las participantes. Dichas valoraciones se efectuaron únicamente una vez las candidatas habían culminado satisfactoriamente la fase lectiva del programa y antes de su incorporación a la etapa práctica o productiva. Su finalidad fue determinar la aptitud médica para desempeñar actividades de alto riesgo, particularmente trabajo en alturas, competencia indispensable para el ejercicio seguro de las funciones operativas asignadas en el proyecto. Esta secuencia metodológica garantizó que únicamente las participantes que cumplían tanto los requisitos académicos como las condiciones médicas y de seguridad requeridas accedieran a la fase operativa, fortaleciendo así la protección de la salud de las trabajadoras y el cumplimiento de los estándares de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Las 40 mujeres seleccionadas cursaron el programa SENA 'Técnico en Instalación de Sistemas Eléctricos Residenciales y Comerciales' (nueve meses: tres de etapa lectiva y seis de etapa lecto-productiva). El currículo integro deliberadamente tres dimensiones: competencias técnicas eléctricas, competencias en SST — incluyendo gestión del riesgo público, procedimientos LOTO, manejo de herramientas aisladas y elaboración de permisos de trabajo — y competencias psicosociales de gestión de conflictos, comunicación empática.

Las 31 mujeres graduadas fueron vinculadas mediante contratos de aprendizaje y desplegadas en actividades operativas reales — suspensión del servicio, corte y reconexión, gestión de cobro — bajo supervisión técnica y con dotación completa de EPP. El seguimiento integro acompañamiento en campo, registro sistemático de eventos de conflictividad y evaluación de indicadores de SST.

3. Resultados y discusión de resultados

Los resultados del programa Formate Mujer ISES se organizan en cuatro dimensiones analíticas: gestión del riesgo público (datos cuantitativos), cultura preventiva y madurez en SST, inclusión y transformación socioeconómica (datos cualitativos y testimoniales), y sostenibilidad y employer branding.

Gestión del riesgo público: evidencia cuantitativa

Los datos del proyecto SCR SUR ofrecen la evidencia más contundente de este estudio. El análisis de 160 eventos de SST registrados a lo largo de 42 meses permite establecer una correlación temporal solida entre la consolidación de la estrategia de inclusión femenina y la reducción sostenida de la accidentalidad.

La tendencia es inequívoca: los accidentes de trabajo descendieron de 23 en 2023 a 20 en 2024 y a 7 en 2025, lo que representa una reducción del 70% entre el peor año del proyecto y el primer año de operación plena de las técnicas electricistas. El total de eventos — accidentes más incidentes — paso de 59 a 23 en el mismo periodo, una caída del 61%. La frecuencia

mensual de eventos se redujo de 4,9 a 1,9 (-61%). La tendencia es sostenida, verificada año a año, sin retrocesos.

Tabla 1. Comparación de indicadores de SST: 2023 (antes) vs. 2025 (después)

Indicador	2023 (antes)	2025 (después)	Variación
Accidentes del año	23	7	-70%
Total, eventos (acc. +inc.)	59	23	-61%
Incidentes del año	36	16	-56%
Eventos por mes	4,9	1,9	-61%

Fuente: Base de datos histórica SCRSUR, nov. 2022 - may. 2026. n = 160 eventos. Datos sin modificaciones.

Igualmente, relevante es la transformación del perfil de riesgo del proyecto. En el bienio 2022-2023, el riesgo publico representaba el 60% del total de eventos, consolidándose como el riesgo dominante. En el bienio 2025-2026, ese peso ha caído al 40% — una reducción de 33 puntos porcentuales. Este desplazamiento no es trivial: significa que la principal amenaza para la integridad de los trabajadores en campo ha perdido peso específico de manera significativa y sostenida.

Un dato adicional merece atención analítica: el riesgo eléctrico emerge en el perfil 2025-2026 (10% de los eventos), algo prácticamente ausente en el periodo anterior. Lejos de ser una alarma, este fenómeno confirma que las técnicas electricistas están operando en campo real, ejecutando tareas técnicas de mayor exigencia — lo que, paradójicamente, corrobora el éxito de la integración operativa.

Tabla 2. Resultados comparativos por genero (nov. 2022 - may. 2026)

Indicador	Hombres	Mujeres
Eventos registrados	133 (83%)	27 (17%)
Accidentes registrados	41 (73%)	15 (27%)
Días perdidos / evento	2,4 días	2,1 días
Accidentes propios 2023-2025	23 acc.	6 -> 1 acc.

Fuente: Base de datos histórica SCRSUR. n = 160 eventos (133 hombres / 27 mujeres).

El análisis por genero revela un patrón de notable consistencia. Las mujeres, con el 17% de los eventos registrados y el 27% de los accidentes, muestran un perfil de riesgo proporcional a su incorporación progresiva al trabajo operativo. El indicador más significativo es el promedio de días perdidos por evento: 2,1 para mujeres frente a 2,4 para hombres. Si bien la diferencia es moderada en términos absolutos, su dirección es consistente con la hipótesis de que las técnicas electricistas adoptan conductas de autocuidado más robustas, lo que se traduce en lesiones de menor severidad cuando ocurren.

La reducción más dramática se observa en los accidentes propios de las mujeres dentro del proyecto: de 6 accidentes en 2023 — año de inicio, con formación en curso — a 1 solo accidente en 2025. Este aprendizaje acelerado de la seguridad operativa en campo es coherente con lo que la literatura sobre curvas de aprendizaje en seguridad documenta: los trabajadores con formación solida en SST desde el inicio de su trayectoria tienden a alcanzar estadios de madurez preventiva más rápidamente que quienes aprenden exclusivamente por experiencia (Zohar, 2010).

Desde la perspectiva del riesgo publico específicamente, los supervisores de campo reportan de manera consistente que la presencia de mujeres uniformadas y acreditadas modifica el comportamiento de los usuarios antes de que ocurra cualquier interacción verbal. Este efecto disuasorio — documentado en la literatura sobre policía de proximidad (Lonsway et al., 2003) y mediación comunitaria — se combina con las competencias adquiridas durante la formación para producir una reducción estructural del riesgo, no meramente circunstancial.

Cultura preventiva y madurez en SST

Mas allá de los indicadores de accidentalidad, la incorporación de las técnicas electricistas produjo efectos cualitativos en la cultura preventiva de los equipos operativos que los supervisores califican como igualmente significativos.

Las graduadas exhibieron desde sus primeras semanas en campo una percepción del riesgo eléctrico y publico más estructurada que la de técnicos con experiencia comparable, pero sin el componente especifico de SST integrado desde el inicio de su formación. La valoración del riesgo — identificar peligros, clasificarlos, adoptar controles antes de iniciar la tarea — era para ellas un procedimiento internalizado, no una formalidad impuesta. Este comportamiento tuvo un efecto de pares positivo sobre los demás miembros de los equipos mixtos, coherente con los hallazgos de Zohar (2010) sobre el papel del clima de seguridad grupal.

El reporte de condiciones inseguras experimento mejoras perceptibles. Las graduadas mostraron mayor disposición a comunicar peligros antes de iniciar las tareas, en contraste con los patrones previos observados en equipos exclusivamente masculinos, donde la cultura de la resistencia al reporte — asociada a valores de dureza y autosuficiencia — inhibía la comunicación de condiciones de riesgo (Reason, 1997; Dekker, 2006). Esta diferencia en el comportamiento de reporte esta alineada con la hipótesis de Page (2007) sobre la diversidad cognitiva: los grupos heterogéneos desarrollan repertorios de respuesta más amplios que los grupos homogéneos, reduciendo la probabilidad de escalada violenta y de normalización del riesgo.

Inclusión y transformación socioeconómica: las voces de las protagonistas

Los testimonios de las graduadas constituyen una fuente de evidencia cualitativa irremplazable. No complementan los datos; los explican. Revelan los mecanismos de transformación que ningún indicador cuantitativo puede capturar por sí solo: la experiencia vivida de cruzar una frontera — la que separa la informalidad de la trayectoria técnica profesional — y lo que eso significa para una mujer, su familia y su comunidad. Los testimonios que se presentan a continuación pueden verificarse en su totalidad en el registro audiovisual del programa (ISES, 2026): https://youtu.be/QMH00KJAKOE.

Punto de partida: de la economía de supervivencia a la oportunidad

Antes de su vinculación al programa, las participantes compartían un perfil socioeconómico definido por la vulnerabilidad estructural. La subsistencia inmediata primaba sobre cualquier proyección de carrera. Las barreras eran múltiples: carga de cuidados no remunerados, falta de acceso a canales de la industria energética y ausencia de legitimidad institucional para convertir el interés técnico en empleo formal.

"El programa cambio mi vida al 100%. Pase de estar en casa a tener una carrera técnica sólida."

— Elizabeth Caicedo, graduada Formate Mujer ISES

"Antes vendía pasteles. Hoy soy técnica electricista. El programa me dio dignidad, educación para mis hijos y la realización de metas que había aplazado por años."

— Mera Alejandra González, graduada Formate Mujer ISES

El análisis de los testimonios revela que el talento técnico preexistía en muchas de las participantes. Elizabeth Caicedo y Julis Cárcamos ya buscaban 'actualizaciones digitales' por cuenta propia antes del programa. Lo que ISES aporto no fue solo el conocimiento técnico, sino la legitimidad institucional: al transformar la pasión empírica en una competencia certificada por el SENA, convirtió un activo invisible en una identidad profesional reconocida por el mercado laboral.

El reclutamiento como acto de inclusión real

La estrategia de convocatoria fue tan decisiva como el currículo. La combinación de reclutamiento en frío, volanteo, difusión en emisoras locales y canales socialmente embebidos como estados de WhatsApp y referencias comunitarias representa, en sí misma, una innovación metodológica en la captación de talento diverso. Esta arquitectura multicanal permitió que la oportunidad llegara directamente al entorno cotidiano de mujeres que no habrían respondido a una convocatoria empresarial convencional. El hecho de que una mujer se enterara del programa a través de un estado de WhatsApp de una vecina —y no de un aviso de empleo formal— es un detalle metodológico con profundas implicaciones para el diseño de futuros programas de inclusión en sectores técnicos. Este modelo de reclutamiento es replicable y constituye una innovación en los procesos de captación de talento diverso.

"Me entere por WhatsApp. Al principio no lo creía. Nunca pensé que una empresa de electricidad buscara mujeres como yo."

— Julis Cárcamos, graduada Formate Mujer ISES

El impacto intergeneracional: la medida más profunda

El indicador de éxito más profundo de este programa no es la tasa de graduación ni la reducción de accidentes, aunque ambos son notables. Es la ruptura del ciclo de transmisión intergeneracional de la pobreza. La estabilidad salarial que el trabajo técnico formal ha generado se traduce en inversión educativa para la siguiente generación.

"Vine de mi pueblo hasta el Atlántico buscando una oportunidad. Hoy tengo una estabilidad económica espectacular. Gracias a este trabajo, mis tres hijos están estudiando para ser profesionales."

— Juliet Simanca, graduada Formate Mujer ISES

El hecho de que la hija de una de las técnicas sea hoy una profesional universitaria — referenciado en el informe de impacto socioeconómico del programa — es el KPI definitivo de esta transformación. La seguridad contractual ha permitido que estas mujeres pasen de buscar el sustento diario a financiar carreras universitarias para sus hijos. En términos de análisis de impacto social, esto representa un retorno de inversión comunitario que ninguna ingeniería de control convencional podría generar.

Sostenibilidad y employer branding

El impacto de Formate Mujer ISES trasciende el perímetro operativo de SST. En la dimensión de la sostenibilidad social, el programa contribuye directamente a los ODS 5 (Igualdad de género), ODS 8 (Trabajo decente) y ODS 10 (Reducción de las desigualdades). La transición de 31 mujeres desde la economía informal hacia ocupaciones técnicas certificadas y bien remuneradas no es una meta cosmética: es una intervención verificable en los mecanismos de reproducción de la pobreza.

Desde la perspectiva del employer branding, ISES se posiciona como una organización que demuestra — con datos — que la inclusión puede ser simultáneamente una estrategia social y

una estrategia preventiva. Este posicionamiento diferencial tiene valor concreto en la captación de talento, la relación con clientes institucionales como Air-e y la construcción de licencia social en las comunidades donde opera (Lievens y Slaughter, 2016).

La reducción del riesgo público tiene, además, una dimensión económica directa. Cada accidente evitado representa ahorro en costos de asistencia médica, ausentismo, investigación de incidentes, sanciones regulatorias y deterioro del clima laboral. La caída del 70% en accidentes y del 61% en eventos totales implica un ahorro cuantificable que, aunque no fue objeto de cálculo especifico en este estudio, constituye una línea de investigación futura de alto valor para la gestión empresarial.

4. Conclusiones

Formate Mujer ISES no es únicamente un programa de inclusión laboral ni únicamente una estrategia de SST. Es la convergencia de ambas dimensiones en un modelo que demuestra empíricamente — con datos de 160 eventos y con las voces de sus protagonistas — que la diversidad de genero puede ser, a la vez, una herramienta de transformación social y una medida de control del riesgo.

Las conclusiones del estudio son las siguientes:

En primer lugar, la inclusión femenina en roles operativos de primera línea constituye una estrategia preventiva eficaz frente al riesgo público. La evidencia cuantitativa es inequívoca: una reducción del 70% en accidentes, del 61% en eventos totales y una caída de 20 puntos porcentuales en el peso del riesgo público sobre el perfil total de eventos. La tendencia es sostenida, verificada año a año, lo que excluye la posibilidad de un efecto aleatorio.

En segundo lugar, la diversidad de género en equipos operativos eleva la madurez del sistema de SST. Las técnicas electricistas trajeron al equipo una cultura de percepción del riesgo, reporte y autocuidado que tuvo un efecto de contagio positivo sobre el conjunto de las cuadrillas. Este mecanismo — documentado en la literatura como peer influence en la cultura de seguridad — es un activo organizacional sistemático, no un efecto individual.

En tercer lugar, el impacto del programa no se circunscribe al ámbito laboral. Los testimonios de las graduadas documentan una transformación socioeconómica profunda: ruptura de ciclos de pobreza, acceso a identidad profesional certificada e impacto intergeneracional verificable en la educación de los hijos. Estos resultados posicionan a Formate Mujer ISES como un caso de referencia en la intersección entre innovación en SST y responsabilidad social empresarial.

En cuarto lugar, el modelo es replicable. Sus componentes — reclutamiento socialmente embebido, formación técnica certificada con integración de competencias psicosociales, supervisión en campo y seguimiento longitudinal — son transferibles a otras empresas del sector eléctrico, otros servicios públicos domiciliarios o cualquier contexto productivo en el que el riesgo publico sea una problemática relevante.

Finalmente, este programa demuestra que la innovación en SST no es exclusivamente tecnológica. En un momento en que la inteligencia artificial, la automatización y la digitalización dominan el discurso sobre el futuro del trabajo, Formate Mujer ISES recuerda que las innovaciones más impactantes en prevención de riesgos son, a veces, de naturaleza humana, social y organizacional. El futuro del trabajo se escribe con datos, con tecnología y también con personas que encuentran en la inclusión una oportunidad real de cambiar su vida y la de los que vienen después.

"Formate Mujer ISES demuestra que el futuro del trabajo no se construye únicamente con tecnología o inteligencia artificial; también se escribe mediante estrategias innovadoras de

inclusión que transforman la Seguridad y Salud en el Trabajo, reducen riesgos y generan oportunidades sostenibles para las personas y las organizaciones."

Limitaciones del estudio

Aunque la base de datos SCR SUR ofrece una serie temporal solida (n=160 eventos, 42 meses), el diseño del estudio no permite establecer causalidad estadística con plena certeza, dado que no se dispone de un grupo de control rigorosamente equivalente. La tendencia de reducción podría estar parcialmente influida por factores exógenos — como cambios en la composición de la cartera de usuarios o ajustes en los protocolos operativos de Air-e — que no fueron controlados de manera sistemática. Se recomienda desarrollar un diseño longitudinal controlado en futuras implementaciones del programa que permita aislar el efecto especifico de la variable de genero sobre los indicadores de SST.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Elizabeth Caicedo, Juliet Simanca, Mera Alejandra González, Julis Cárcamo y a todas las graduadas del programa Formate Mujer ISES por compartir sus testimonios con generosidad y valentía. Su experiencia es el corazón de este estudio. Igualmente, al SENA por la alianza de formación, a Air-e por el marco operativo y a todo el equipo de SST de ISES por el rigor con que construyo y mantuvo la base de datos que hace posible esta evidencia.

Bibliografía

Braun, V., y Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77-101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Chappell, D., y Di Martino, V. (2006). Violence at work (3rd ed.). International Labour Organization. https://doi.org/10.2139/ssrn.1081513

Dekker, S. (2006). The field guide to understanding human error. Ashgate Publishing.

Eagly, A. H., y Carli, L. L. (2003). The female leadership advantage: An evaluation of the evidence. The Leadership Quarterly, 14(6), 807-834. https://doi.org/10.1016/j.leaqua.2003.09.004

Hyde, J. S. (2014). Gender similarities and differences. Annual Review of Psychology, 65, 373-398. https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115057

International Labour Organization. (2003). Code of practice on workplace violence in services sectors and measures to combat this phenomenon. ILO.

International Labour Organization. (2020). Women in technical and vocational education and training: Issues and innovations. ILO.

International Renewable Energy Agency. (2019). Renewable energy: A gender perspective. IRENA. https://www.irena.org/publications/2019/Jan/Renewable-Energy-A-Gender-Perspective

Lievens, F., y Slaughter, J. E. (2016). Employer image and employer branding: What we know and what we need to know. Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 3, 407-440. https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-041015-062501

Lonsway, K. A., Moore, M., Harrington, P., Smeal, E., y Spillar, K. (2003). Hiring and retaining more women: The advantages to law enforcement agencies. National Center for Women & Policing.

Organizacion Internacional del Trabajo. (2003). Repertorio de recomendaciones practicas sobre la violencia en el lugar de trabajo en el sector de los servicios y medidas para combatirla. OIT.

Page, S. E. (2007). The difference: How the power of diversity creates better groups, firms, schools and societies. Princeton University Press.

Prokos, A., y Padavic, I. (2002). Masculinity lessons in police academy training. Gender, Work & Organization, 9(4), 439-459. https://doi.org/10.1111/1468-0432.00168

Reason, J. (1997). Managing the risks of organizational accidents. Ashgate Publishing.

Reynolds, A., y Lewis, D. (2017, March 30). Teams solve problems faster when they're more cognitively diverse. Harvard Business Review. https://hbr.org/2017/03/teams-solve-problems-faster-when-theyre-more-cognitively-diverse

Stake, R. E. (1995). The art of case study research. Sage Publications.

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). Sage Publications.

Zohar, D. (2010). Thirty years of safety climate research: Reflections and future directions. Accident Analysis & Prevention, 42(5), 1517-1522. https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.12.019

ISES. (2026). Formate Mujer ISES: testimonios de transformacion [Video]. YouTube. https://youtu.be/QMH00KJAKOE

De la Simulación Inmersiva a la Cultura Preventiva: Analítica XR y Cambio Conductual. Caso de estudio en industria extractiva.

Patricio Vacas 1[a], Sebastián Matamoros 2[a]

Sonia Patricia Navas Villamizar 1[b],

[a] Holostech, Santiago, Chile - Mendoza, Argentina

[b] Ingeniería y Tecnología de Servicios, Bogotá, Colombia

*Autor de referencia: pvacas@holosglobal.com

Abstract

Transformar la cultura de seguridad en industrias de alto riesgo requiere algo más que instrucción: demanda experiencias que interpelen al trabajador y datos que permitan sostener la mejora en el tiempo. La realidad extendida (XR) ofrece ambas dimensiones de forma integrada, combinando la inmersión experiencial con una trazabilidad digital exhaustiva del comportamiento frente al riesgo operativo. El objetivo de este trabajo es evaluar el impacto conjunto de la simulación en realidad virtual inmersiva y la analítica de inteligencia preventiva de SymbioXR sobre los indicadores de accidentalidad y cultura de seguridad en una empresa de servicios para la industria del petróleo y gas en Colombia. Se implementó un ecosistema XR compuesto por tres escenarios críticos en operaciones de cementación de pozos: Centralización, Rigup y Mezcla y Prueba de presión; junto con una suite de simuladores de riesgos que incluye un simulador de conducción de vehículos livianos. El sistema captura más de 120 variables de desempeño por sesión, incluyendo el uso de EPP (Equipo de Protección Personal), el cumplimiento de "Controles Críticos" y la precisión técnica en maniobras que involucran riesgos de alta presión. La arquitectura de SymbioXR procesó estos datos para identificar patrones de omisión y errores conductuales en tiempo real, habilitando retroalimentación personalizada basada en brechas detectadas.

Los resultados reales obtenidos por la empresa Ingeniería y Tecnología de Servicio (ITS) en Colombia evidencian que, durante el período 2016-2024, se alcanzó una reducción del 100% en accidentes viales y registrables (accidentes con pérdida de tiempo).

La analítica granular demostró ser el motor de este cambio: mientras se validó un cumplimiento del 100% en protocolos de segregación de áreas y uso de radio en pruebas de presión, el sistema detectó brechas específicas en la verificación de diques de contención y seteo de válvulas de seguridad (OPS), permitiendo intervenciones de entrenamiento dirigidas antes de la operación en campo. Asimismo, el índice de participación en observaciones de seguridad aumentó de 0,72 a 3,83 tarjetas por empleado/mes, reflejando una transición hacia una cultura generativa apalancada por la visibilidad diagnóstica. La combinación de inmersión experiencial y analítica de aprendizaje convierte a la tecnología XR en una herramienta de inteligencia preventiva. Al transformar el "error simulado" en un dato accionable, las organizaciones pueden predecir comportamientos de riesgo y sostener su cultura de seguridad con evidencia medible y trazable.

Palabras Clave

Realidad extendida; analítica de aprendizaje; cultura de seguridad; inteligencia preventiva; industria extractiva.

1. Introducción

La industria del petróleo & gas y minería se encuentra entre los sectores con mayor exposición a riesgos laborales críticos a nivel mundial. Las operaciones de alta complejidad —como la cementación de pozos petroleros— involucran peligros que van desde el manejo de sustancias químicas y altas presiones hasta el trabajo en altura y en espacios confinados, configurando escenarios donde el error humano puede tener consecuencias graves e irreversibles (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2023). En este contexto, la capacitación del personal operativo no es solo una obligación normativa: es un factor determinante en la gestión del riesgo.

Sin embargo, los métodos tradicionales de formación presentan limitaciones estructurales reconocidas. Las metodologías basadas en presentaciones, charlas y manuales tienden a generar baja retención del conocimiento, escasa transferencia al puesto de trabajo y nula trazabilidad del aprendizaje individual (Qawqzeh et al., 2025; Radianti et al., 2020). Este problema se agudiza cuando las operaciones involucran procedimientos de alta complejidad técnica, donde la brecha entre el conocimiento declarativo —saber qué hacer— y el conocimiento procedimental —saber cómo hacerlo bajo presión— es crítica. La evidencia educativa respalda que el aprendizaje experiencial, basado en la práctica activa y la retroalimentación inmediata, genera mayor retención y transferencia al puesto de trabajo que los métodos pasivos, independientemente de la edad o perfil del trabajador (Kolb, 1984).

Frente a estas limitaciones, las tecnologías de realidad extendida (XR) —que comprenden la realidad virtual (VR), la realidad aumentada (AR) y la realidad mixta (MR)— han emergido como una alternativa de alto potencial para la formación en entornos industriales de riesgo. Estudios recientes demuestran que la simulación inmersiva mejora significativamente la retención del conocimiento y la percepción del riesgo en comparación con métodos convencionales, al situar al trabajador como protagonista activo de su propio aprendizaje (Frontiers in Virtual Reality, 2025; Springer Nature, 2025).

Esta brecha —entre la simulación como herramienta de entrenamiento y la analítica como motor de mejora continua— constituye el núcleo del presente trabajo. El objetivo de este estudio es evaluar el impacto conjunto de la simulación en realidad virtual y la analítica de desempeño provista por la plataforma SymbioXR sobre los indicadores de accidentalidad y cultura de seguridad en una empresa de servicios para la industria del petróleo & gas en Colombia, analizando cómo la conversión del "error simulado" en dato accionable permite predecir comportamientos de riesgo y sostener una cultura de seguridad generativa con evidencia medible y trazable.

2. Metodología

El presente trabajo corresponde a un estudio de caso longitudinal con diseño cuasi-experimental de tipo antes/después, desarrollado en el período 2016–2024 en una empresa colombiana de servicios especializados para la industria del petróleo & gas. La organización contaba con una fuerza laboral operativa expuesta a riesgos críticos asociados a operaciones de cementación de pozos, incluyendo manejo de altas presiones, trabajo en altura, exposición a sustancias químicas y exposición a conducción de vehículos pesados y livianos en entornos complejos. La selección de este caso responde a tres criterios: la criticidad de los riesgos operacionales involucrados, la disponibilidad de registros históricos de accidentalidad con un horizonte temporal suficiente para evaluar tendencias, y la implementación sistemática y documentada de escenarios de realidad virtual desarrollados con soporte de la plataforma SymbioXR de Holostech.

Descripción de la intervención

La intervención consistió en el diseño, desarrollo e implementación progresiva de tres escenarios de realidad virtual correspondientes a las operaciones de mayor criticidad en el proceso de cementación de pozos: Centralización, Rigup y Mezcla y Prueba de presión. Cada escenario fue construido a partir de un relevamiento exhaustivo de peligros reales, lecciones aprendidas de incidentes previos y matrices de control de riesgos existentes en la organización, asegurando que las situaciones simuladas reprodujeran fielmente las condiciones operacionales y los puntos críticos de falla identificados en campo. Los escenarios fueron desplegados mediante dispositivos de realidad virtual a la totalidad de la fuerza laboral operativa involucrada en dichos procesos.

Recolección y análisis de datos

La plataforma SymbioXR actuó como sistema de captura y procesamiento de datos de desempeño, registrando más de 120 variables por sesión —incluyendo uso de Equipos de Protección Personal (EPP), cumplimiento de Controles Críticos, tiempos de respuesta y precisión técnica en maniobras de alta presión— y generando perfiles individuales que permitieron identificar patrones de omisión y error conductual por trabajador y por escenario.

Los indicadores primarios evaluados fueron la tasa de accidentalidad —medida a través de accidentes registrables según los registros oficiales de la organización— y el índice de participación en el programa de observaciones de seguridad, expresado en tarjetas por empleado por mes. Ambos indicadores fueron recopilados de los registros históricos internos de la empresa para el período 2016–2024, permitiendo una comparación longitudinal del desempeño antes y durante la implementación progresiva de los escenarios de realidad virtual.

Los indicadores secundarios correspondieron a los datos capturados por SymbioXR durante las sesiones de simulación, específicamente el porcentaje de cumplimiento en protocolos críticos de seguridad —tales como segregación de áreas, uso de radio en pruebas de presión, verificación de diques de contención y seteo de válvulas de seguridad (OPS)— y la identificación de brechas conductuales recurrentes. Estos datos fueron procesados para orientar intervenciones de entrenamiento dirigidas, previo a la ejecución de las operaciones en campo.

El análisis integró ambas fuentes de datos bajo un enfoque mixto que combina el análisis cuantitativo de tendencias en accidentalidad con la interpretación de los patrones de comportamiento detectados en simulación, permitiendo establecer la relación entre la mejora en el desempeño simulado y la reducción de eventos no deseados en el entorno real.

3. Resultados y discusión de resultados

Los resultados se presentan en dos niveles complementarios: los datos de desempeño (indicadores lead) en simulación capturados por SymbioXR para cada escenario de realidad virtual, y los indicadores organizacionales de accidentalidad y cultura de seguridad (indicadores lag) registrados durante el período 2016–2024.

Desempeño en simulación por escenario

El escenario de Prueba de Presión registró 61 experiencias completadas por 60 alumnos, con una nota promedio de 97,6 sobre 100 y un tiempo promedio de 11,9 minutos por sesión. El análisis de errores reveló que el 83% de las omisiones se concentró en la sección de Revisión de Equipo de Trabajo, siendo los errores más frecuentes la verificación de la presión de prueba y el rigup de la línea de cementación estándar. La plataforma SymbioXR identificó 8 consecuencias graves o fatales simuladas, asociadas principalmente a incidentes de presión por manipulación incorrecta de válvulas y por omisiones en solicitar despresurizaciones de línea (ver Tabla 1).

CONSECUENCIAS GRAVES/FATALES

Seccion	Actividad	Consecuencia	Total
Desfogue	Metodo de apertura de valvula lento	Explosión por abrir la valvula de manera rapida	2
Revision de equipo	Actividad Selección de maceta de metalica en buen estado	Daño colateral al usar una maceta en mal estado	4
Revision de equipo	Actividad Seleccionar solicitar despresurizar la linea	Explosión por no solicitar despresurización de linea	2
Total			**8**

Tabla 1. Consecuencias Graves/Fatales en el escenario Prueba de presión

El escenario de Rigup y Mezcla presentó el mayor volumen de actividad, con 195 experiencias realizadas por 64 alumnos y un promedio de 3,0 experiencias por alumno. La nota promedio fue de 66,8. Los errores se distribuyeron de forma homogénea entre las cuatro secciones: Instalación de Equipos (35%), Recolección de Aguas y Mezcla de Fluidos (34%), Izaje Cabeza de Cementación (27%) y Armado de Línea de Izaje (4%). El error más frecuente correspondió a la ubicación de equipos y setup del pad de cementación, asociados al desplazamiento de vehículos en reversa (20 ocurrencias), seguido del uso de tacos y polines para fijar los vehículos (10) y la instalación de la toma a tierra (9). Las secciones de Armado de Línea y posterior Izaje de la Cabeza de Cementación concentraron el mayor número de consecuencias graves o fatales simuladas, con 138 eventos registrados. (ver Tabla 2).

CONSECUENCIAS GRAVES/FATALES

Seccion	Actividad/Elemento	Consecuencia	Total
Izaje de cabeza de cementación	Tomar cabeza de cementacion por la parte superior	Aplastamiento por cabeza de cementación	15
Izaje de cabeza de cementación	Tomar cabeza de cementación por la parte superior	Atrapamiento de manos	4
Instalación de los equipos	Alarma de Reversa	Atropello de persona	14
Recoleccion de aguas y mezcla de fluidos y quimica	Barandas de equipos	Caída de persona	13
Izaje de cabeza de cementación	Escalera en buen estado	Caída por escalera en mal estado	1
Izaje de cabeza de	Método de 3 puntos de apoyo	Caída por no usar 3 puntos de apoyo	64
Total			**138**

Tabla 2. Consecuencias Graves/Fatales en el escenario Rigup y Mezcla

El escenario de Centralización registró 146 experiencias completadas por 61 alumnos, con una nota promedio de 83,3 y un tiempo promedio de 6,5 minutos por sesión. El 67% de los errores se concentró en la sección de Equiparse EPP, siendo la selección incorrecta de la máscara de soldar el error más frecuente con 46 ocurrencias. Se registraron 86 consecuencias graves o fatales simuladas (ver Tabla 3).

CONSECUENCIAS GRAVES/FATALES

Seccion	Actividad/Elemento	Consecuencia	Total
Centralizador	Colocar Cuña	Aplastamiento por caños	46
C Criticos	Mejorar iluminación	Caída	4
C Criticos	Quitar Basura	Caída	2
Centralizador	Uso de Torquimetro No Certificado	Caida de objetos	9
Centralizador	Uso de Llave Alem	Daño por llave allen	23
C Criticos	Uso del repelente	Pérdida de visión	2
Total			**86**

Tabla 3. Consecuencias Graves/Fatales en el escenario Centralización

En conjunto, los tres escenarios acumularon 402 experiencias de simulación involucrando a 64 trabajadores, y se detectaron 232 consecuencias graves o fatales simuladas que fueron convertidas en intervenciones de entrenamiento dirigidas antes de la ejecución de las operaciones en campo.

Indicadores organizacionales de accidentalidad y cultura de seguridad

A nivel organizacional, el período 2016–2024 evidenció una transformación sostenida en los indicadores de seguridad de ITS. El análisis de la evolución del índice TRIR (Total Recordable Incident Rate) muestra una reducción pronunciada desde los valores iniciales de 2016, con una tendencia decreciente sostenida que converge hacia cero a partir de 2020, alcanzando una reducción del 100% en accidentes registrables al cierre del período evaluado (ver Figura 1).

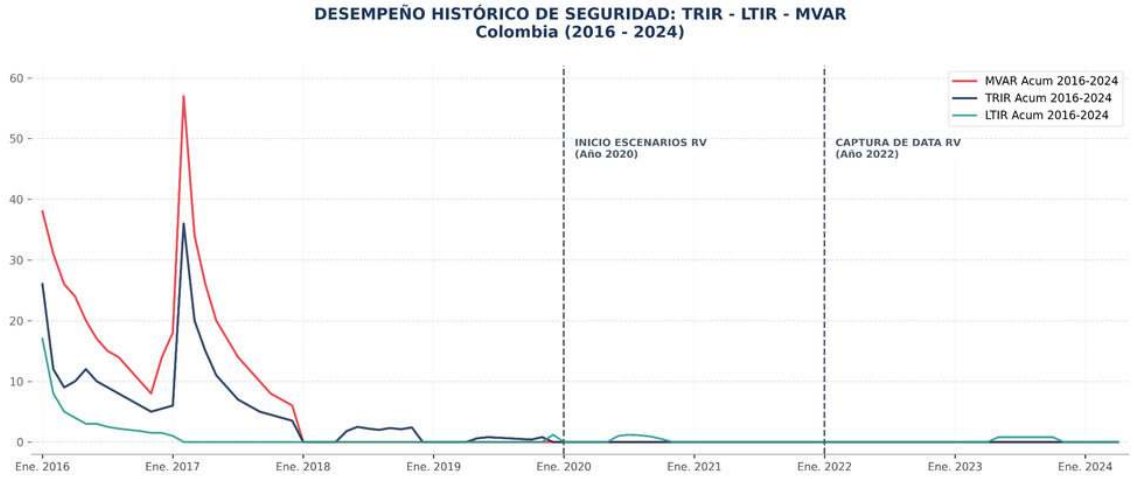


Figura 1. Desempeño histórico de seguridad en Colombia (2016-2024) y reducción de incidentes TRIR. Las líneas verticales discontinuas marcan hitos de intervención del programa de RV: "Inicio Escenarios RV" (Enero 2020) y "Captura de Data RV" (enero 2022). Gráfico base adaptado de Navas Villamizar y Camacho (2024).

Paralelamente, el índice de participación en el programa de observaciones de seguridad —medido en tarjetas por empleado por mes— evidencia una curva de crecimiento progresivo que pasó de 0,72 en 2016 a 2,42 en 2017, 2,98 en 2018, 3,21 en 2019 y 3,25 en 2020. El crecimiento se acelera notablemente a partir de 2021, año en que el índice salta a 4,24, alcanza su pico en 2022 con 4,27, y se estabiliza en 3,83 en 2024, manteniéndose por encima del límite organizacional establecido de 4,0 tarjetas por empleado por mes durante tres años consecutivos (ver Figura 2).



Figura 2. Incremento en la participación de tarjetas de observación (2016-2024).Las líneas verticales discontinuas marcan hitos de intervención del programa de RV: "Inicio Escenarios RV" (Enero 2020) y "Captura de Data RV" (enero 2022). Gráfico base adaptado de Navas Villamizar y Camacho (2024).

Discusión

La analítica como mecanismo articulador y la simulación como diagnóstico conductual

La analítica granular de SymbioXR demostró ser el mecanismo articulador entre los resultados de simulación y los organizacionales: mientras los datos inmersivos permitieron identificar y corregir brechas conductuales específicas antes de la operación real, los indicadores lag reflejaron el impacto acumulado de esas intervenciones.

El análisis de los datos capturados revela un hallazgo central: la variabilidad en el desempeño entre escenarios no es aleatoria, sino que refleja con precisión la complejidad operacional real de cada proceso. El escenario de Prueba de Presión, el más protocolarizado, obtuvo la nota promedio más alta (reflejando un alto nivel de dominio), mientras que Rigup y Mezcla, el proceso de mayor complejidad técnica y exposición a riesgos, registró la nota más baja y el mayor número de consecuencias graves o fatales simuladas. Esta correspondencia sugiere que los escenarios lograron reproducir fielmente las condiciones de riesgo, dotando a la plataforma de validez como instrumento de evaluación (Freina & Ott, 2015).

Más relevante aún es la naturaleza de los errores detectados. Las omisiones más frecuentes corresponden a elementos de control críticos cuya ausencia en campo tiene consecuencias graves o fatales (ej. método de 3 puntos de apoyo, uso de cuñas). Esta granularidad diagnóstica diferencia a la analítica de aprendizaje de los métodos tradicionales, habilitando intervenciones dirigidas con una precisión que ningún método convencional puede ofrecer (Radianti et al., 2020).

Correlación temporal y cultura de seguridad

La evolución de los indicadores organizacionales de ITS entre 2016 y 2024 muestra una transformación sostenida: reducción del 100% en accidentes viales y registrables, e incremento sostenido en el índice de participación en observaciones de seguridad. El punto de inflexión más pronunciado ocurre entre 2020 y 2021 —coincidiendo con la fase de implementación y consolidación de los escenarios de realidad virtual. Si bien la resolución de los datos no permite aislar causalmente la contribución de la RV de otras intervenciones simultáneas, esta coincidencia temporal refuerza la plausibilidad de que la capacidad diagnóstica de SymbioXR constituyó un factor contributivo relevante.

Este comportamiento refleja un cambio cualitativo en la cultura preventiva de la organización, consistente con el modelo de cultura generativa de Westrum (2004): trabajadores que no solo cumplen protocolos sino que participan activamente en la identificación y reporte de riesgos. El crecimiento del índice de observaciones de 0,72 a 3,83 sugiere precisamente ese cambio cualitativo, y la exposición repetida a escenarios inmersivos es un mecanismo plausible de sensibilización (Kolb, 1984).

Es importante reconocer que esta interpretación tiene limitaciones metodológicas relevantes. La ausencia de un grupo control y la imposibilidad de aislar el efecto de la RV de otras variables organizacionales —cambios en liderazgo, procesos o normativas— impiden afirmar causalidad. Lo que sí puede afirmarse es que la implementación de realidad virtual con analítica de desempeño es consistente con la mejora observada en los indicadores de participación por empleado en las tarjetas de observación, y que los mecanismos propuestos —diagnóstico de brechas conductuales e intervención dirigida— son teóricamente coherentes con los resultados obtenidos.

Implicaciones prácticas y líneas futuras

Los hallazgos de este estudio tienen implicaciones directas para la gestión preventiva en industrias de alto riesgo. La capacidad de SymbioXR de capturar más de 120 variables por sesión y convertirlas en perfiles individuales de riesgo conductual representa un avance cualitativo respecto a los sistemas de gestión de aprendizaje tradicionales, que típicamente registran asistencia y calificaciones pero no comportamiento. Esta inteligencia preventiva permite a las organizaciones anticipar fallas antes de que ocurran en campo, desplazando el paradigma de la seguridad reactiva hacia la seguridad predictiva. Como líneas de investigación futura, se propone el diseño de estudios con mayor control metodológico que permitan aislar el efecto de la simulación en RV sobre indicadores de accidentalidad, incorporando grupos de comparación y mediciones intermedias.

4. Conclusiones

Este estudio documenta la implementación de tres escenarios de realidad virtual para la capacitación en control de riesgos críticos en operaciones de cementación de pozos petroleros, analizando su capacidad diagnóstica a través de la plataforma SymbioXR y su relación con la evolución de los indicadores de seguridad de una empresa de servicios para la industria del petróleo, gas y minería en Colombia.

Los datos de desempeño capturados en simulación revelan que la realidad virtual, integrada a un sistema de analítica de aprendizaje, trasciende su función como herramienta de entrenamiento para convertirse en un instrumento de inteligencia preventiva. La detección de 232 consecuencias graves o fatales simuladas a través de 402 experiencias —antes de que esas conductas de riesgo pudieran materializarse en campo— ilustra con precisión el valor diferencial de este enfoque: no se trata de medir si el trabajador aprendió, sino de identificar exactamente qué conducta de riesgo exhibe, en qué momento del proceso, y con qué consecuencia potencial, para intervenir de forma dirigida y oportuna.

La variabilidad en el desempeño entre escenarios —desde una nota promedio de 97,6 en Prueba de Presión hasta 66,8 en Rigup y Mezcla— demuestra además que la plataforma y experiencias de simulación inmersiva reflejan con fidelidad la complejidad operacional real de cada proceso, validando el uso de la tecnología XR como instrumento no solo de desarrollo de aprendizaje sino también de evaluación de competencias en entornos de alto riesgo.

En el marco de una estrategia de innovación en SST (Seguridad y Salud en el Trabajo) más amplia, los indicadores organizacionales de ITS muestran una transformación sostenida durante el período 2016–2024, con una reducción del 100% en accidentalidad y un incremento

del 431% en la participación en programas de observación de seguridad. Si bien la contribución específica de la tecnología XR no puede aislarse metodológicamente de otras intervenciones implementadas en paralelo, los mecanismos documentados —diagnóstico de brechas conductuales, intervención dirigida y retroalimentación personalizada— son consistentes con la mejora observada y constituyen una base plausible para sostener que la realidad extendida fue un factor contributivo relevante en dicha transformación.

Como limitación principal, este estudio reconoce la ausencia de un grupo de control y datos de accidentalidad con resolución anual que permitan establecer causalidad. Estas limitaciones son inherentes al diseño de estudio de caso longitudinal en contextos organizacionales reales, donde no es posible suspender intervenciones preventivas con fines experimentales. Futuros estudios podrían abordar esta brecha mediante diseños comparativos entre unidades operativas con y sin implementación XR, o mediante el seguimiento longitudinal de indicadores de desempeño en simulación correlacionados con eventos de seguridad en terreno.

Bibliografía

Freina, L., & Ott, M. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. In eLearning & Software for Education Conference. https://www.researchgate.net/publication/280938640

Cordeiro, A., Ferreira, Y., Leite, R., Almeida, L. A. L., Catapan, M. C., Siqueira, A., Silva, T., & Winkler, I. (2025). Immersive technologies for evaluating industrial safety training in high-risk environments: A review on opportunities and challenges. Frontiers in Virtual Reality. https://doi.org/10.3389/frvir.2025.1726058

Kolb, D. A. (1984). Experiential learning: Experience as the source of learning and development. Prentice Hall.

Navas Villamizar, S. P., & Camacho, A. (2024). Transformando la gestión de riesgos de SST y operacionales en la industria del petróleo, gas y minería a través de innovación implementando realidad extendida. ITS.

Organización Internacional del Trabajo. (2023). Seguridad y salud en el trabajo. https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work/lang--es/index.htm

Qawqzeh, Y., Al Shraah, A., et al. (2025). Exploring the effectiveness of virtual reality-based training for sustainable health and occupational safety in industry 4.0. Scientific Reports. https://www.nature.com/articles/s41598-025-14173-y

Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. Computers & Education, 147, 103778. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778

Leite, W., & Vieira, A. (2025). The use of virtual reality in human training: Trends and a research agenda. Virtual Reality. https://doi.org/10.1007/s10055-024-01093-x

Westrum, R. (2004). A typology of organisational cultures. Quality & Safety in Health Care, 13(Suppl 2), ii22–ii27. https://doi.org/10.1136/qshc.2003.009522

Innovar para cuidar: cuando la tecnología se pone al servicio del bienestar de las personas

Andrés Serna Bautista; Milena Mercedes Tobón Bernal

Caja de Compensación Familiar Comfenalco Antioquia

milena.tobon@comfenalcoantioquia.com

Abstract

La gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) enfrenta desafíos importantes en organizaciones con amplia cobertura geográfica, donde garantizar la implementación efectiva de estrategias preventivas requiere modelos de operación cercanos, integrales y adaptados a las particularidades territoriales.

Comfenalco Antioquia, organización con presencia en todo el departamento de Antioquia y más de 2.500 colaboradores directos, y 7.500 aliados, identificó la necesidad de fortalecer su Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG- SST) para reducir la accidentalidad laboral y mejorar la cobertura de las acciones preventivas.

El objetivo de esta iniciativa fue transformar el modelo tradicional de gestión de SST en un enfoque territorial, preventivo y centrado en las personas, alineado con el propósito central de la Caja, la cultura organizacional y los objetivos estratégicos.

Para ello, se implementó un modelo de operación territorial basado en la asignación de profesionales por regiones, el desarrollo de un software especializado para la gestión del SG-SST, una aplicación móvil para reportes en tiempo real y el programa de bienestar integral FeliSSTmente.

Los resultados evidenciaron una reducción del 37,6 % en la accidentalidad laboral, el cumplimiento del 100 % de los estándares mínimos del SG-SST, 92,8% de la Decreto 1072; un incremento del 390 % en la cobertura de formación, la ejecución de 39 simulacros especializados con la participación de más de 2.800 personas.

Adicionalmente, se fortaleció la trazabilidad de la gestión preventiva mediante herramientas tecnológicas y acompañamiento territorial permanente.

Se concluye que la implementación de un modelo territorial apoyado en innovación tecnológica y estrategias de bienestar contribuye significativamente al fortalecimiento de la cultura preventiva, la disminución de riesgos laborales y la sostenibilidad organizacional.

Palabras Clave

gestión preventiva; transformación organizacional; innovación tecnológica; cultura de seguridad; bienestar laboral.

1. Introducción

Contexto institucional

Además, brinda una amplia oferta de servicios orientados al bienestar integral de sus afiliados, entre ellos recreación, bienestar personal y familiar, formación y bibliotecas, hoteles y viajes, créditos, agencia de empleo y subsidios, servicios de Alimentación y Bebidas, eventos de ciudad, contribuyendo al crecimiento personal, familiar y laboral de quienes hacen parte de la organización.

el Sistema Líder de la Caja, nuestros aliados y cada colaborador que hace parte de esta construcción colectiva.





La Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) ha evolucionado durante las últimas décadas desde enfoques centrados principalmente en el cumplimiento normativo hacia modelos de gestión integrales orientados a la prevención, la sostenibilidad organizacional y el bienestar de los colaboradores.

Diversos organismos internacionales han destacado que la consolidación de culturas preventivas sólidas constituye uno de los factores más efectivos para la reducción de accidentes laborales y la protección de la salud de los colaboradores, especialmente en organizaciones con operaciones distribuidas geográficamente y con alta diversidad de actividades económicas.

No obstante, uno de los principales desafíos que enfrentan las organizaciones con amplia cobertura territorial consiste en garantizar que las estrategias de SST lleguen de manera efectiva a todos los centros de trabajo, manteniendo niveles homogéneos de prevención, participación y gestión del riesgo. En muchos casos, los sistemas de gestión continúan concentrándose en procesos documentales y de cumplimiento legal, limitando su capacidad para generar cambios culturales sostenibles y una apropiación real por parte de los colaboradores.

En Colombia, la implementación de los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo ha impulsado importantes avances en materia preventiva; sin embargo, persiste la necesidad de desarrollar modelos innovadores que integren herramientas tecnológicas, enfoques territoriales y estrategias de bienestar que permitan fortalecer la gestión del riesgo desde una perspectiva más cercana, participativa y centrada en las personas.

Bajo este contexto, Comfenalco Antioquia identificó la necesidad de transformar su modelo tradicional de operación en SST para responder a las particularidades de una organización con presencia en las nueve subregiones del departamento, más de 2.500 colaboradores directos y una amplia red de aliados estratégicos (7.500). La principal brecha identificada estuvo relacionada con la necesidad de fortalecer la cobertura efectiva del sistema, incrementar la participación de los colaboradores y mejorar los resultados en materia de accidentalidad laboral mediante un enfoque preventivo y territorial.

La hipótesis de trabajo plantea que la implementación de un modelo de operación territorial apoyado en herramientas tecnológicas, apalancado por el sistema líder de

la Caja, acompañamiento regional especializado y estrategias integrales de bienestar puede fortalecer la cultura preventiva, mejorar la gestión de los riesgos laborales y contribuir a la reducción de la accidentalidad en organizaciones con cobertura geográfica extensa.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio es describir y evaluar los resultados de la transformación del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo de Comfenalco Antioquia mediante la implementación de un modelo de operación territorial innovador, soportado en soluciones tecnológicas, estrategias de participación y programas de bienestar integral. De manera complementaria, se analizan los principales impactos obtenidos en términos de accidentalidad laboral, fortalecimiento de capacidades, cobertura preventiva y consolidación de una cultura organizacional orientada al cuidado y la protección de la vida.

Para alcanzar estos objetivos, se desarrolló un estudio descriptivo basado en el análisis de los resultados obtenidos durante la implementación del modelo de operación territorial, incorporando indicadores de gestión, accidentalidad, formación, preparación para emergencias y participación de los colaboradores. Los hallazgos permiten evidenciar cómo la integración de innovación, cercanía territorial y bienestar puede convertirse en un factor estratégico para la sostenibilidad y el fortalecimiento de los Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

"...la transformación digital está modificando la forma en que las organizaciones gestionan los riesgos laborales, permitiendo una mayor trazabilidad, análisis de datos y capacidad de respuesta preventiva (European Agency for Safety and Health at Work, 2025; DataScope, 2025)."

International Labour Organization. (2024)

International Labour Organization. (2025).

European Agency for Safety and Health at Work. (2025).

Aliane, N., Benaissa, S., & colaboradores. (2025).

Dekra. (2025).

DataScope. (2025)

Smithers. (2025).

2. Metodología

Diseño del estudio

Se desarrolló un estudio descriptivo con enfoque de intervención organizacional y análisis comparativo entre las regiones, la accidentalidad, la severidad y planes de trabajo; igualmente de los profesionales que acompañaban bajo línea técnica los procesos del Sistema de Gestión.

La elección de este diseño metodológico respondió a la necesidad de analizar el impacto de una transformación organizacional aplicada en condiciones reales de operación, permitiendo evaluar cambios en indicadores de gestión, accidentalidad laboral, cobertura preventiva, formación y participación de los colaboradores.

Entorno de aplicación

El estudio se desarrolló en Comfenalco Antioquia, organización privada sin ánimo de lucro perteneciente al Sistema del Subsidio Familiar en Colombia, con presencia en las nueve subregiones del departamento de Antioquia a través de 147 sedes y más de 2.500 colaboradores directos.

La intervención se implementó de manera transversal en toda la organización mediante un modelo de operación territorial que distribuyó la gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo por regiones estratégicas, garantizando acompañamiento permanente y cobertura integral del SG-SST en los diferentes centros de trabajo.

Población y criterios de inclusión

La población objeto de análisis estuvo conformada por la totalidad de los colaboradores directos de Comfenalco Antioquia.

Criterios de inclusión

Colaboradores activos durante el periodo de implementación del modelo (2025 - 2026).

• Registros asociados a actividades de formación, inspecciones, reportes de condiciones inseguras, pausas activas y eventos relacionados con SST.

• Información registrada en los sistemas corporativos de gestión de SST.

• Criterios de exclusión

Registros incompletos o duplicados.

• Información correspondiente a periodos diferentes al alcance definido para el estudio.

• Eventos sin trazabilidad documental o validación institucional.

• Objetivos del estudio

Objetivo principal

Evaluar el impacto del Modelo de Operación Territorial del SG-SST sobre los indicadores de gestión preventiva, accidentalidad laboral y fortalecimiento de la cultura en Comfenalco Antioquia.

Objetivos secundarios

Analizar la variación de la accidentalidad laboral frente al año inmediatamente anterior.

• Evaluar la cobertura y efectividad de los procesos de formación en SST.

• Medir el desempeño de las herramientas tecnológicas implementadas para la gestión preventiva.

• Analizar la participación de los colaboradores en programas de bienestar y promoción de la salud.

• Evaluar el fortalecimiento de la capacidad de respuesta ante emergencias.

• Métodos e instrumentos de recolección de datos

La información fue obtenida mediante diversas fuentes institucionales y herramientas de gestión:

Análisis documental

Registros históricos de accidentalidad laboral.

• Informes de gestión del SG-SST.

• Autoevaluaciones de estándares mínimos de la Resolución 0312 de 2019.

• Informes de simulacros y preparación ante emergencias.

• Herramientas tecnológicas

Software corporativo desarrollado a la medida para la administración del SG- SST.

• Aplicación móvil institucional para el reporte en tiempo real de actos y condiciones inseguras.

• Bases de datos corporativas de formación y participación.

• Observación y seguimiento operativo

Inspecciones de seguridad.

• Seguimiento a programas de gestión de riesgos.

• Verificación de cumplimiento de acciones preventivas y correctivas.

• Indicadores evaluados

Los principales indicadores analizados fueron:

Tasa de accidentalidad laboral.

• Número de accidentes laborales reportados.

• Cumplimiento de estándares mínimos del SG-SST.

• Cobertura de formación en SST.

• Número de simulacros ejecutados.

• Participación en actividades de bienestar.

• Reportes de condiciones inseguras.

• Porcentaje de cierre de acciones correctivas.

• Número de inspecciones de seguridad realizadas.

• Los indicadores fueron expresados mediante frecuencias absolutas, porcentajes y variaciones porcentuales respecto al periodo de referencia 2024.

Normas y metodologías utilizadas

La implementación y evaluación del modelo se desarrolló bajo los lineamientos de:

Decreto 1072 de 2015.

• Resolución 0312 de 2019 del Ministerio del Trabajo de Colombia.

• Política corporativa de Seguridad y Salud en el Trabajo de Comfenalco Antioquia.

• Herramientas y recursos tecnológicos

Para la gestión de la información se utilizaron:

Software institucional MiSST de gestión del SG-SST desarrollado para Comfenalco Antioquia.

• Aplicación móvil MiSST corporativa para reporte de condiciones y actos inseguros en línea.

• Herramientas corporativas de análisis y seguimiento de indicadores.

• Sistemas internos de gestión documental y seguimiento de acciones.

• Consideraciones éticas

La investigación se desarrolló utilizando información institucional consolidada y registros operativos del SG-SST. Los datos fueron analizados de manera agregada, garantizando la confidencialidad de la información y el cumplimiento de los principios éticos aplicables a la gestión organizacional.

Análisis estadístico

Los datos fueron consolidados y analizados mediante técnicas de estadística descriptiva.

Se calcularon frecuencias absolutas, porcentajes, tasas de variación y comparaciones interanuales entre los periodos 2024 y 2025 para evaluar el comportamiento de los indicadores definidos.

Los resultados fueron organizados en tablas, gráficos e indicadores de gestión, permitiendo identificar tendencias, niveles de cumplimiento y efectos asociados a la implementación del Modelo de Operación Territorial.

Coherencia metodológica

La metodología empleada permitió relacionar directamente cada uno de los resultados obtenidos con las acciones implementadas dentro del nuevo modelo de operación, facilitando la evaluación objetiva de su impacto sobre la gestión preventiva, la cultura de seguridad y el desempeño del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.

3. Resultados y discusión de resultados

Desempeño del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo

La evaluación del desempeño del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo evidenció altos niveles de cumplimiento durante el período de estudio. La autoevaluación de estándares mínimos del SG-SST alcanzó un cumplimiento del 100 %, mientras que la auditoría interna del Sistema obtuvo un resultado del 98 %. Adicionalmente, la auditoría realizada bajo los criterios del Consejo Colombiano de Seguridad bajo el Decreto 1072 registró un cumplimiento del 92,99 %. Estos resultados reflejan la cobertura y aplicación de los componentes definidos dentro del modelo de operación territorial implementado.

Tabla 1. Resultados de evaluación del SG-SST 2025

Indicador	Resultado
Cumplimiento estándares mínimos SG-SST	100 %
Auditoría interna SG-SST	98 %
Auditoría Consejo Colombiano de Seguridad	92,99 %

Accidentalidad laboral

El análisis comparativo de la accidentalidad laboral mostró una disminución del 37,6 % durante 2025 respecto al año anterior, equivalente a 41 accidentes menos registrados frente a 2024.

Los indicadores de frecuencia, severidad y prevalencia presentaron comportamiento favorable durante el periodo evaluado. Asimismo, la organización estimó costos evitados asociados a la reducción de accidentes laborales por valor de $177.327.156 COP.

Tabla 2. Resultados de accidentalidad laboral

Indicador	Resultado
Reducción de accidentalidad laboral	37,6 %
Casos menos frente a 2024	41
Costos evitados estimados	$177.327.156 COP

Cobertura de formación y fortalecimiento de competencias

Los registros de capacitación evidenciaron un incremento del 390 % en la cobertura de formación respecto al periodo anterior.

Como parte de la estrategia de fortalecimiento de capacidades institucionales se desarrollaron procesos de formación especializada tanto presencial como plataforma propia de Aprendemos y certificaciones internacionales BLS–ACLS para personal definido estratégicamente dentro de la organización.

Tabla 3. Resultados de formación en SST

Indicador	Resultado
Incremento en cobertura de formación	390 %
Certificaciones implementadas	BLS–ACLS

Gestión preventiva mediante herramientas tecnológicas

La implementación de herramientas tecnológicas permitió fortalecer los procesos de identificación, reporte y seguimiento de riesgos laborales.

Durante el periodo evaluado se registraron 180 reportes de condiciones inseguras a través de los mecanismos institucionales establecidos, alcanzando un porcentaje de

cierre del 87 % de las acciones derivadas. Asimismo, se realizaron 380 inspecciones de seguridad en las diferentes sedes y centros de trabajo de la organización.

Preparación y respuesta ante emergencias

Las actividades de preparación para emergencias incluyeron la ejecución de 39 simulacros técnicos especializados en diferentes sedes de la organización. Adicionalmente, se desarrolló un simulacro simultáneo que permitió la evacuación de 2.454 personas entre colaboradores, contratistas y usuarios, fortaleciendo la capacidad de respuesta institucional frente a eventos críticos.

Certificación de 270 brigadistas en todas las subregiones entre básica, media y avanzada con currículo propio para la Caja.

Tabla 5. Resultados de preparación ante emergencias

Indicador	Resultado
Simulacros realizados simultáneos	39
Personas evacuadas	2.454
Simulacros realizados en el año	195
Brigadistas certificados	270

Participación en programas de bienestar

La estrategia FeliSSTmente logró una participación superior a 2.800 personas entre colaboradores y aliados estratégicos. Las actividades desarrolladas incluyeron pausas activas, intervenciones orientadas al bienestar físico y mental, acompañamiento a colaboradores con condiciones particulares de salud y experiencias apoyadas en tecnología robótica para fortalecer la participación y apropiación de la cultura preventiva.

Cobertura territorial del modelo de operación

La implementación del Modelo de Operación Territorial permitió establecer cobertura en las nueve subregiones donde tiene presencia Comfenalco Antioquia, mediante la

asignación de responsables regionales para la gestión integral del SG-SST. La estrategia permitió fortalecer el acompañamiento técnico, la presencia institucional y la ejecución de actividades preventivas en las 147 sedes de la organización.

Síntesis de resultados

Los resultados obtenidos durante la implementación del Modelo de Operación Territorial evidenciaron mejoras en los indicadores de accidentalidad laboral, cumplimiento del SG-SST, cobertura de formación, preparación para emergencias, gestión preventiva y participación en programas de bienestar.

Asimismo, se observó una ampliación de la cobertura operativa mediante la asignación regional de profesionales de Seguridad y Salud en el Trabajo y el fortalecimiento de herramientas tecnológicas para la gestión de riesgos.



Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que la implementación del Modelo de Operación Territorial del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) en Comfenalco Antioquia estuvo asociada con mejoras significativas en los indicadores de desempeño preventivo, fortalecimiento de la cultura de seguridad y consolidación de la gestión estratégica del riesgo. Entre los hallazgos más relevantes se destacan la reducción del 37,6 % en la accidentalidad laboral, el cumplimiento del 100 % de los estándares mínimos del SG-SST, el incremento del 390 % en la cobertura de formación y la ampliación de la capacidad de respuesta mediante herramientas tecnológicas y acompañamiento territorial especializado.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2024), que señala que las organizaciones que evolucionan desde modelos centrados exclusivamente en el cumplimiento normativo hacia enfoques preventivos y participativos logran mayores niveles de sostenibilidad, reducción de incidentes y compromiso de los colaboradores

De igual manera, los hallazgos coinciden con los principios promovidos por la norma ISO 45001, que destacan el liderazgo, la participación de los colaboradores y la gestión basada en riesgos como factores fundamentales para mejorar el desempeño en seguridad y salud en el trabajo.

La disminución observada en la accidentalidad laboral podría indicar que la estrategia de territorialización de la gestión preventiva facilitó una identificación más oportuna de los riesgos y una mayor capacidad de intervención en los diferentes contextos operativos de la organización.

La asignación de profesionales responsables por regiones permitió acercar el sistema a los colaboradores, fortaleciendo la presencia de la Caja y favoreciendo una respuesta más rápida frente a las condiciones de riesgo detectadas. Este hallazgo resulta especialmente relevante en organizaciones con dispersión geográfica, donde la distancia entre los equipos de SST y los colaboradores suele convertirse en una barrera para la efectividad de las acciones preventivas.

Otro aspecto destacable corresponde a la incorporación de herramientas tecnológicas para la gestión preventiva. El desarrollo de un software especializado para la administración del

SG-SST y una aplicación móvil para el reporte de condiciones inseguras permitió mejorar la trazabilidad de la información, agilizar la

gestión de acciones correctivas y fortalecer la toma de decisiones basada en datos. Estos resultados son coherentes con investigaciones recientes que sugieren que la digitalización de los procesos de SST favorece una gestión más proactiva del riesgo y mejora la capacidad organizacional para anticipar eventos no deseados.

Asimismo, el incremento del 390 % en la cobertura de formación y la implementación de certificaciones internacionales BLS-ACLS evidencian una apuesta institucional por el fortalecimiento de capacidades internas. La literatura especializada reconoce que la formación continua constituye uno de los principales mecanismos para consolidar comportamientos seguros y promover el autocuidado, especialmente cuando se integra con estrategias de liderazgo y participación de los colaboradores.

La consolidación de la estrategia FeliSSTmente representa otro hallazgo de interés. La participación de más de 2.800 colaboradores y aliados en actividades orientadas al bienestar físico, mental y emocional refleja una comprensión más amplia de la SST, alineada con las tendencias internacionales que promueven entornos laborales saludables como parte integral de la gestión preventiva. Este enfoque resulta consistente con las recomendaciones actuales sobre salud mental y bienestar organizacional, las cuales destacan la necesidad de abordar los factores psicosociales junto con los riesgos tradicionales de seguridad.

Desde una perspectiva práctica, los resultados sugieren que los modelos de operación territorial pueden constituir una alternativa efectiva para organizaciones con múltiples sedes o amplia cobertura geográfica. La integración entre presencia regional, tecnología, formación y bienestar permitió generar una gestión más cercana a los colaboradores y más alineada con las necesidades específicas de cada territorio. En este sentido, la experiencia de Comfenalco Antioquia aporta evidencia aplicable a otras organizaciones que buscan fortalecer sus sistemas de gestión mediante enfoques descentralizados y centrados en las personas.

Entre las fortalezas del estudio se encuentra la evaluación de una intervención desarrollada a escala organizacional, con cobertura sobre la totalidad de los colaboradores y un amplio conjunto de indicadores de gestión, accidentalidad, formación, bienestar y preparación para emergencias. Asimismo, la disponibilidad de información institucional permitió realizar comparaciones con periodos previos y analizar el comportamiento del sistema desde múltiples dimensiones.

A partir de estos hallazgos, futuras investigaciones podrían analizar el impacto longitudinal del modelo territorial sobre indicadores de salud, productividad y sostenibilidad organizacional, así como evaluar la percepción de los colaboradores frente a la transformación del sistema.

En conjunto, los resultados obtenidos son compatibles con la hipótesis planteada inicialmente y sugieren que la combinación de territorialización, innovación tecnológica, fortalecimiento de capacidades y promoción del bienestar puede contribuir significativamente al desarrollo de sistemas de gestión más efectivos, participativos y sostenibles. La experiencia presentada aporta evidencia práctica sobre cómo la transformación de la SST puede trascender el cumplimiento normativo para convertirse en un elemento estratégico de bienestar organizacional, continuidad operativa y protección de la vida.



4. Conclusiones

La implementación del Modelo de Operación Territorial del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) en Comfenalco Antioquia permitió fortalecer significativamente la gestión preventiva y consolidar la Seguridad y Salud en el Trabajo como un proceso estratégico para la organización. Los resultados obtenidos evidenciaron mejoras relevantes en indicadores clave de desempeño, entre ellos la reducción del 37,6 % de la accidentalidad laboral, el cumplimiento del 100 % de los estándares mínimos del SG-SST, el incremento del 390 % en la cobertura de formación, el fortalecimiento de la preparación ante emergencias y la ampliación de la participación de los colaboradores en programas de bienestar.

Los hallazgos obtenidos permiten concluir que la integración de un enfoque territorial, apoyado en herramientas tecnológicas, acompañamiento especializado por regiones y estrategias de bienestar integral, favorece una gestión más cercana, participativa y orientada a la prevención. La descentralización operativa facilitó una mayor cobertura del sistema en los diferentes territorios donde opera la organización, fortaleciendo la identificación temprana de riesgos, la capacidad de respuesta y la apropiación de la cultura de autocuidado por parte de los colaboradores.

Asimismo, la incorporación de soluciones tecnológicas para la gestión del SG-SST demostró ser una herramienta valiosa para mejorar la trazabilidad de la información, optimizar el seguimiento de acciones preventivas y fortalecer los procesos de toma de decisiones basados en datos. De igual manera, iniciativas como FeliSSTmente evidenciaron la importancia de integrar la promoción del bienestar físico, mental y emocional como parte de una visión más amplia y moderna de la Seguridad y Salud en el Trabajo.

Desde una perspectiva organizacional, la experiencia desarrollada demuestra que la SST puede trascender su función tradicional de cumplimiento normativo para convertirse en un habilitador estratégico de la sostenibilidad institucional, la continuidad operativa, la protección de la vida y el fortalecimiento de la cultura organizacional. En este sentido, el modelo implementado aporta una experiencia replicable para organizaciones con múltiples sedes o amplia dispersión geográfica que buscan evolucionar hacia sistemas de gestión más efectivos y centrados en las personas.

Entre las principales fortalezas del estudio se destacan la cobertura institucional alcanzada, la evaluación de la totalidad de los colaboradores de la organización, la integración de múltiples indicadores de desempeño y la posibilidad de comparar los resultados obtenidos con periodos anteriores. Estas características permitieron obtener una visión amplia del impacto generado por la transformación del modelo de operación.

Finalmente, se recomienda que futuras investigaciones evalúen el impacto longitudinal de los modelos territoriales de SST sobre indicadores de productividad, salud integral, sostenibilidad y experiencia del colaborador. También resulta pertinente analizar el papel de las tecnologías emergentes, la analítica de datos y la inteligencia artificial como herramientas para fortalecer la gestión preventiva y la anticipación de riesgos en organizaciones de alta complejidad operativa.

En conclusión, la experiencia de Comfenalco Antioquia evidencia que la combinación de territorialización, innovación tecnológica, fortalecimiento de capacidades y promoción del bienestar constituye una estrategia efectiva para consolidar culturas preventivas sostenibles y generar valor organizacional. Los resultados obtenidos respaldan la importancia de evolucionar hacia modelos de gestión más humanos, cercanos y basados en la prevención, reafirmando que la prevención continúa siendo la clave del bienestar.



Bibliografía

1. International Labour Organization. (2024). Global strategy on occupational safety and health 2024–2030 and plan of action for its implementation. International Labour Organization. https://www.ilo.org

2. International Labour Organization. (2025). Safety and health at work. International Labour Organization. https://www.ilo.org/topics-and- sectors/safety-and-health-work

3. European Agency for Safety and Health at Work. (2025). OSH Pulse 2025: Climate change, digitalisation and psychosocial risks. EU-OSHA. https://osha.europa.eu

4. Aliane, N., Benaissa, S., & colaboradores. (2025). Assessing the organizational impact of ISO 45001 implementation on occupational health and safety performance. Journal of Information Systems Engineering and Management, 10(4). https://jisem-journal.com

5. Dekra. (2025). How ISO 45001 enhances mental health in the workplace. DEKRA Insights. https://www.dekra.nl/en/iso-45001-mental-health/

6. DataScope. (2025). OHS and ISO 45001: The digitization that transforms occupational health and safety management. DataScope Blog. https://datascope.io

7. Smithers. (2025). How ISO 45001 transforms workplace safety: Creating a culture of health and compliance. Smithers Information Services. https://www.smithers.com

8. Reich, A., Wolfe, D., Price, M., Choe, A., Kidd, F., & Wagner, H. (2026). Safety first: Psychological safety as the key to AI transformation. arXiv. https://arxiv.org/abs/2602.23279

9. ISO. (2023). ISO 45001: Occupational health and safety management systems — Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.

10. Ministerio del Trabajo de Colombia. (2019). Resolución 0312 de 2019: Estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo SG-SST. Bogotá, Colombia.

11. Ministerio del Trabajo de Colombia. (2015). Decreto 1072 de 2015: Decreto único reglamentario del sector Trabajo. Bogotá, Colombia.

Carga del ausentismo asociado a trastornos musculoesqueléticos y propuesta de un modelo de rehabilitación laboral en una empresa manufacturera de Ecuador

Burden of musculoskeletal disorder-related absenteeism and proposal for a workplace rehabilitation model in an Ecuadorian manufacturing company

Paola Elvira Vargas Miño[a*], Alywin Ildefonso Hacay Chang Leon[a], Antonio Ramón Gómez-García[a]

[a]Universidad Espirítu Santo, Samborondón, Ecuador.

*paola.vargas@uees.edu.ec

Abstract

Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo (TMERT) constituyen una de las principales causas de incapacidad temporal y pérdida de productividad en empresas con altas exigencias físicas y exposición a riesgos biomecánicos. El objetivo de este estudio fue describir el perfil epidemiológico y la carga de ausentismo atribuible a los TMERT en una empresa manufacturera ecuatoriana durante 2019–2024, así como proponer una estrategia para el diseño e implementación de un centro de rehabilitación física en el lugar de trabajo. Se analizaron los registros médicos de la empresa y se realizó una revisión narrativa de la literatura científica, apoyada en herramientas de inteligencia artificial, para identificar componentes clave en la organización y funcionamiento de estos centros. Durante el periodo de estudio se registraron 7.705 atenciones médicas por TMERT, con una media de edad de 35,7 años y un total de 27.863 días de incapacidad temporal. Las dorsopatías fueron el diagnóstico más frecuente y la mayor carga de incapacidad se concentró en trabajadores con alta exposición biomecánica. La evidencia científica respalda que los programas de rehabilitación física en el lugar de trabajo, especialmente cuando son multidisciplinarios y adaptados a las demandas específicas del puesto, contribuyen a la reducción del ausentismo, el retorno laboral seguro y la mejora de la capacidad funcional. La propuesta de centro de rehabilitación incluye recursos humanos especializados, infraestructura adecuada, protocolos clínico-funcionales y sistemas de seguimiento y evaluación. Se concluye que la implementación de un centro de rehabilitación física en la empresa puede ser una estrategia efectiva para mitigar el impacto de los TMERT, siempre que se adapte a las condiciones operativas y organizacionales locales. Se recomienda realizar estudios futuros para evaluar la factibilidad y el costo-beneficio de este tipo de iniciativas en el contexto empresarial ecuatoriano.

Palabras Clave

Servicios de Rehabilitación; Enfermedades Musculoesqueléticas; Retorno al trabajo; Industria Manufacturera; Salud Ocupacional. Rehabilitation Services; Return to Work; Musculoskeletal Diseases; Manufacturing Industry; Occupational Health.

1. Introducción

Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo (TMERT) constituyen actualmente uno de los problemas más relevantes en salud ocupacional a nivel global y se encuentran entre las principales causas de incapacidad temporal y pérdida de productividad. Estas patologías de origen laboral no solo afectan el bienestar físico del trabajador, sino que también generan días de trabajo perdidos durante el periodo de incapacidad laboral, repercutiendo significativamente en la productividad y la sostenibilidad económica de las organizaciones (Soler-Font et al., 2021; Stock et al., 2025). Esta problemática es particularmente relevante en actividades económicas con elevadas exigencias físicas y manuales, donde la exposición a factores de riesgo biomecánicos incrementa la probabilidad de aparición de TMERT (Zaheer et al., 2023; Matuszewska et al., 2025).

La complejidad de los TMERT radica en su etiología multifactorial, donde las demandas físicas no son el único desencadenante. Si bien la exposición biomecánica, caracterizada por movimientos repetitivos y posturas forzadas, es el factor de riesgo más frecuente (Arvidsson et al., 2021; Nata et al., 2025), la evidencia subraya que las condiciones organizacionales y psicosociales juegan un rol determinante. En este sentido, determinantes como el estrés laboral, las demandas ocupacionales elevadas y la falta de apoyo institucional no solo aumentan la incidencia de las lesiones osteomusculares, sino que prolongan la duración de la baja laboral (Macdonald & Oakman, 2024; Stock et al., 2025). Por tanto, el abordaje de los TMERT debe integrar estrategias preventivas, clínicas y de recuperación funcional que favorezcan una reincorporación laboral segura.

En respuesta a estos desafíos, la implementación de centros de rehabilitación y programas de gestión de la salud laboral en las empresas ha demostrado beneficios para los trabajadores y contribuye a optimizar la inversión en prevención de riesgos laborales, al favorecer la recuperación funcional y reducir el ausentismo. Estas unidades internas de salud laboral no solo facilitan el acceso temprano a la terapia, sino que permiten una personalización del tratamiento basada en las demandas reales del puesto de trabajo, lo que acelera el retorno laboral seguro y reduce las tasas de reincidencia (Dropkin et al., 2021; Jin et al., 2025). Asimismo, las empresas que disponen de instalaciones de rehabilitación dentro de los servicios de medicina del trabajo contribuyen a fortalecer la percepción de apoyo organizacional, mejorando el compromiso del trabajador al programa y fomentando una cultura de prevención que mitiga el impacto de los riesgos biomecánicos (Grana et al., 2024; Ekhammar et al., 2025).

A pesar de las ventajas clínicas y económicas que ofrecen estos servicios complementarios en medicina del trabajo, su implementación sigue enfrentando barreras logísticas, organizacionales y restricciones presupuestarias (Rogerson et al., 2024). Esta situación podría estar relacionada, en parte, al limitado conocimiento técnico-operativo de los profesionales de seguridad y salud en el trabajo sobre cómo diseñar e implementar centros de rehabilitación ocupacional dentro de las empresas. Este desafío resulta particularmente relevante en Ecuador, donde la experiencia de este tipo de servicios en el ámbito empresarial continúa siendo escasa, pese a que los riesgos biomecánicos continúan representan un problema importante para la salud laboral de la población trabajadora (Andrade et al., 2025; Merino et al., 2017; Lascano et al., 2019).

En este contexto, el presente estudio se estructura en dos fases. La primera describe el perfil epidemiológico y la carga de ausentismo atribuible a los TMERT en una empresa manufacturera ecuatoriana. La segunda, a partir de los resultados obtenidos en la primera fase y sustentada en una revisión de la literatura científica, plantea una propuesta de implementación de un centro de rehabilitación física en el lugar de trabajo.

2. Metodología

Para describir el perfil epidemiológico y la carga de ausentismo por TMERT, se utilizaron los registros de atenciones realizadas por el servicio médico de empresa durante el período 2019–2024. Los datos, debidamente anonimizados, fueron proporcionados en formato Excel. Para el análisis, se seleccionaron los casos correspondientes a los diagnósticos osteomusculares más prevalentes, conforme a la Clasificación Internacional de Enfermedades, décima revisión (CIE-10). Las variables disponibles incluyeron edad, cargo laboral y número de días de incapacidad temporal. El cargo laboral fue categorizado según el nivel de exposición a riesgos biomecánicos en tres grupos: alta, media y baja exposición. Esta clasificación se realizó con base en estudios previos sobre evaluación ergonómica y matrices de exposición laboral, en los cuales las ocupaciones se agrupan según la presencia de demandas físicas como manipulación manual de cargas, movimientos repetitivos, posturas forzadas, aplicación de fuerza y bipedestación prolongada (Solovieva et al., 2012; Madsen et al., 2018). Las variables categóricas se describieron mediante frecuencias absolutas y relativas. La edad se expresó como media aritmética y desviación estándar, mientras que los días de incapacidad laboral se describieron mediante mediana y rango intercuartílico, debido a su distribución asimétrica. Para estimar la carga de ausentismo, se calculó la suma acumulada de los días de incapacidad temporal por TMERT según variables de interés.

En cuanto al desarrollo de la propuesta para el diseño e implementación de un centro de rehabilitación física en el lugar de trabajo, se realizó una revisión narrativa de la literatura científica, apoyada en herramientas de inteligencia artificial, específicamente Web of Science - Research Assistant y Scopus AI (Sołoducho-Pelc & Sulich, 2025). Las consultas se orientaron a explorar, entre otros aspectos, evidencia disponible sobre el equipo profesional requerido, la infraestructura necesaria, los materiales y equipos básicos, el manejo y seguimiento clínico-funcional, y los indicadores de evaluación (Tabla 1). La información identificada fue contrastada con las fuentes originales, revisada críticamente por los autores y organizada para adaptarla a las necesidades específicas de la empresa manufacturera analizada.

Tabla 1. Componentes de la propuesta y consultas orientadoras utilizadas en la revisión narrativa asistida por herramientas de inteligencia artificial.

Justificación
What are the expected benefits of workplace-based physical rehabilitation programmes for workers with work-related musculoskeletal disorders?
Reducción del ausentismo laboral
How effective are workplace rehabilitation programmes in reducing absenteeism and lost workdays due to work-related musculoskeletal disorders?
Retorno al trabajo
How do workplace rehabilitation programmes support safe and sustainable return to work after work-related musculoskeletal disorders?
Equipo profesional
What professional team is required to implement a workplace-based physical rehabilitation and physiotherapy centre?
Infraestructura
What infrastructure is needed for a workplace-based physical rehabilitation and physiotherapy centre?
Materiales y equipos
What equipment and materials are recommended for physical rehabilitation programmes for work-related musculoskeletal disorders?

Manejo clínico-funcional
What clinical and functional interventions are recommended for managing work-related musculoskeletal disorders in occupational health settings?
Seguimiento del trabajador
What follow-up strategies are used in workplace rehabilitation programmes for workers with musculoskeletal disorders?
Adaptación al puesto de trabajo
How should workplace rehabilitation programmes be adapted to job demands and biomechanical risk exposure?
Indicadores de evaluación
What indicators are used to evaluate workplace rehabilitation programmes for musculoskeletal disorders?

3. Resultados y discusión de resultados

Durante el periodo 2019–2024 se registraron 7.705 atenciones médicas por TMERT. La media de edad fue de 35,7 ± 8,7 años, con un rango entre 20 y 60 años. En conjunto, los TMERT generaron 27.863 días acumulados de incapacidad temporal. La mediana de días de incapacidad laboral se situó en 2 días, con un rango de 1 a 3 días. Las dorsopatías (M40–M54) constituyeron el grupo diagnóstico osteomuscular más frecuente, con el 62,1%, seguidas de los trastornos de los tejidos blandos (M60–M79), con el 20,7%, y las artropatías (M00–M25), con el 17,3%. El 69,5% de las atenciones se concentró principalmente en puestos clasificados como de alta exposición biomecánica, acumulando el 59,9% de la carga total de días de incapacidad laboral (16.684 días). Los cargos de exposición media concentraron el 27,6% de las atenciones y acumularon 9.588 días de incapacidad laboral, mientras que los cargos de baja exposición representaron una menor proporción de atenciones y días de incapacidad laboral.

A continuación, se presentan los principales hallazgos de la revisión narrativa, organizados según los componentes de la propuesta y las consultas orientadoras descritas en la Tabla 1.

Justificación

La revisión de la literatura identificó que la implementación de programas de rehabilitación física en el lugar de trabajo se asocia principalmente con la reducción del ausentismo laboral y con una reincorporación al trabajo más temprana y sostenible (Sears et al., 2021; Bae et al., 2021). Asimismo, los estudios revisados describieron mejoras en la salud, la capacidad funcional y la recuperación de los trabajadores cuando las intervenciones integraron medidas ergonómicas proactivas y la participación coordinada de profesionales de distintas disciplinas (Bethge, 2017; Bernaers et al., 2026). Los resultados también señalaron que la efectividad de estos programas depende de su adaptación a las necesidades clínicas, funcionales y laborales de cada trabajador, así como del apoyo organizacional durante el proceso de rehabilitación y retorno al trabajo (Sepehrian et al., 2024; Tawfig et al., 2026). En conjunto, estos hallazgos respaldan la pertinencia de implementar un centro de rehabilitación física en el lugar de trabajo como estrategia para favorecer la recuperación funcional y reducir el impacto laboral de los trastornos musculoesqueléticos.

Reducción del ausentismo laboral

Los resultados obtenidos mostraron que los programas de rehabilitación ocupacional pueden contribuir a reducir el ausentismo laboral, especialmente cuando incorporan un enfoque multidisciplinario y se diseñan de acuerdo con las exigencias y características específicas del puesto de trabajo (Aasdahl et al., 2025). Las revisiones sistemáticas y los meta análisis analizados señalaron que las intervenciones que combinan ejercicio físico, tratamiento rehabilitador, seguimiento clínico y participación activa del trabajador en el lugar de trabajo favorecen la reincorporación laboral y pueden disminuir la duración de las bajas por enfermedad (Heathcote et al., 2019; Kalski et al., 2024). No obstante, la magnitud de estos beneficios varió según el tipo, la duración y el contexto de aplicación de las intervenciones, lo que destaca la importancia de adaptar los programas a las necesidades funcionales del trabajador y a las condiciones reales de su actividad laboral.

Retorno al trabajo

La evidencia revisada indica que un retorno al trabajo seguro y sostenible se favorece mediante intervenciones tempranas y multidisciplinarias, con la participación coordinada de profesionales de medicina, rehabilitación, fisioterapia y apoyo psicosocial. Este enfoque contribuye a recuperar la capacidad funcional, facilitar el desempeño de las actividades cotidianas y mantener la participación laboral a largo plazo (Bethge, 2017; Markovic et al., 2024). Asimismo, las intervenciones que combinan ajustes ergonómicos, modificaciones temporales de las tareas y una reincorporación gradual al puesto de trabajo se asociaron con una menor probabilidad de recaída y con una mayor permanencia en el empleo (Schneider et al., 2016; Bökel et al., 2025).

Equipo profesional

Se enfatiza el requerimiento de un equipo multidisciplinario de profesionales de la salud incluyendo fisioterapeutas y especialistas de rehabilitación física (Östlind et al., 2021), terapeutas ocupacionales (Belyayev & Smith, 2022), médicos especialistas en rehabilitación (Courties et al., 2026), así como expertos en ergonomía y profesionales en salud ocupacional. La efectividad del equipo y del programa dependen de un fuerte liderazgo, claridad en la comunicación y soporte gerencial (Guerra et al., 2022).

Infraestructura

La infraestructura debe garantizar niveles óptimos de seguridad y accesibilidad, asegurando suficiente espacio (Kevdzija and Marquardt, 2022). Los implementos y equipos terapéuticos deben incluir las necesidades de fuerza, balance y funcionalidad del paciente, así como equipos de diagnóstico y seguimiento (Kaushal et al., 2020; Wolf, 2025). Es importante recalcar elementos de seguridad incluyendo pisos anti deslizantes, barras de sujeción, sistemas de emergencia y señaléticas para reducción de posibles accidentes para pacientes y terapeutas (Hashemi et al., 2021).

Materiales y equipos

Se sugiere la adquisición de dispositivos ortopédicos y herramientas de asistencia avanzadas, identificándose la utilidad de colchonetas, sensores biomecánicos de rehabilitación y sistemas de realidad virtual (Foye et al., 2007; Bobby et al., 2025). Para mitigar la carga biomecánica asistencial y optimizar el entrenamiento, se recomienda la instalación de elevadores de techo y dispositivos de frenado que reducen significativamente el estrés físico del terapeuta durante el manejo y el entrenamiento del paciente (Gideon et al., 2021; Luo et al., 2018). En innovación tecnológica, cobra relevancia el uso de electrónica portátil basada en ionogeles biodegradables con memoria de forma y órtesis inteligentes (Wu et al., 2023), así como la aplicación controlada de estimulación eléctrica neuromuscular (González-Seguel et al., 2026). Sin embargo, la evidencia también valida el uso de opciones económicas y accesibles como técnicas de respiración y caminatas pautadas y herramientas básicas para movilización pasiva y la realización de ejercicios graduales (Sycheva, 2018; González-Seguel et al., 2026).

Manejo clínico-funcional

Es fundamental que el abordaje terapéutico de los trabajadores se sustente en el desarrollo e implementación de políticas en el lugar de trabajo que prioricen la seguridad operacional como eje transversal. (Batista et al., 2025; Gideon Asuquo et al., 2021). En este sentido, los programas de rehabilitación deben complementarse con estrategias de entrenamiento en el lugar de trabajo y rutinas estructuradas de estiramiento muscular (Van Eerd et al., 2016). El éxito de estas intervenciones radica en la combinación del ajuste ergonómico y la promoción de una ergonomía participativa que involucre a los trabajadores en las soluciones ergonómicas organizacionales (Nayak et al., 2026; Bernardes et al., 2021; U Nayak et al., 2026). De este modo la gestión clínica óptima unifica las capacitaciones ergonómicas técnicas con intervenciones conductuales dirigidas a modificar el comportamiento y la higiene postural del trabajador (Batista et al., 2025; Gideon Asuquo et al., 2021; van de Wijdeven et al., 2023).

Seguimiento del trabajador

Garantizar una reincorporación laboral sostenible en el tiempo requiere un análisis riguroso y consensuado de los planes de rehabilitación, con la participación activa del trabajador, empleador y profesional de salud responsable (Briand et al., 2008; Skagseth et al., 2020). Si bien los programas de atención posterior laboral combinan el entrenamiento funcional, el apoyo psicosocial y el asesoramiento para facilitar el retorno, cierta evidencia muestra que los beneficios pueden ser limitados en comparación con las estrategias de atención posterior convencional (Knapp et al., 2015). En contraste, metodología de baja complejidad como el seguimiento telefónico periódico favorece la reincorporación laboral al proveer una canal de apoyo continuo y accesible (Hara et al., 2018). Finalmente, implementar evaluaciones periódicas y sistemáticas del programa permiten auditar la calidad del servicio e identificar con precisión áreas críticas que requieren un mayor nivel de intervención (Neuderth et al., 2016; Streibelt & Bethge., 2014).

Adaptación al puesto de trabajo

Los procesos de rehabilitación física deben estar alineados con las exigencias físicas, biomecánicas y cognitivas específicas del puesto de trabajo, esto favorece el incremento de las tasas de reincorporación laboral exitosa (Cheng & Hung., 2007; Durand et al., 2007). La integración coordinada de ajustes ergonómicos en la línea de producción junto con el entrenamiento dirigido de las capacidades funcionales del trabajador permite abordar de manera integral y proactiva los riesgos biomecánicos de origen ocupacional asociados directamente con la aparición y reagudización de los TME (Fauser et al., 2024; Bernaers et al., 2025; Wienert et al., 2016).

Indicadores de evaluación

Por último, el programa de rehabilitación laboral enfocado en TME requiere la estructuración de un sistema de evaluación fundamentado en indicadores de calidad objetivos. Estos indicadores deben permitir la medición sistemática de la capacidad organizacional, el desarrollo de los procesos internos, la efectividad de los resultados clínicos y la perspectiva del paciente y el proveedor de servicio del servicio de salud (Makarm et al., 2023; Johansen et al., 2019; Sand-Svartud et al., 2022). Es también necesario medir la eficacia de los programas de ejercicio físico e intervenciones ergonómicas, particularmente las de origen participativo (Sundstrup et al., 2020; Seeberg et al., 2019), incorporando una perspectiva biopsicosocial para evaluar los cambios en la percepción del estado de salud general (Saltychev et al., 2014). Como complemento se sugiere incluir herramientas e indicadores basados en las dimensiones del Margen de Maniobra (MM) para evaluar cualitativa y cuantitativamente la viabilidad real del proceso de reincorporación laboral dentro de la empresa (Durand et al., 2009).

4. Conclusiones

La alta prevalencia de trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo (TMERT) representa una causa importante de atención médica y ausentismo laboral en la empresa manufacturera analizada durante el período 2019–2024. Las dorsopatías constituyeron el grupo diagnóstico más frecuente y la mayor carga de incapacidad laboral se concentró en los trabajadores con alta exposición a riesgos biomecánicos, lo que evidencia la necesidad de superar el modelo de medicina ocupacional reactivo y fortalecer las estrategias de prevención, recuperación funcional y reincorporación laboral en este grupo ocupacional.

La revisión de la literatura mostró que los programas de rehabilitación física implementados en el lugar de trabajo pueden contribuir a reducir el ausentismo, favorecer un retorno laboral más temprano y sostenible, y mejorar la capacidad funcional de los trabajadores cuando se desarrollan mediante un enfoque multidisciplinario e integrado con medidas ergonómicas y seguimiento clínico. Asimismo, la evidencia destaca la importancia de adaptar las intervenciones a las exigencias específicas de cada puesto de trabajo y de contar con el apoyo organizacional necesario para garantizar la efectividad de los programas.

Con base en los hallazgos epidemiológicos identificados y en la evidencia científica revisada, la implementación de un centro de rehabilitación física dentro de los servicios de salud ocupacional de la empresa surge como una alternativa potencialmente útil para abordar el impacto de los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo. Su diseño debe considerar recursos humanos especializados, infraestructura adecuada, protocolos de atención, programas de seguimiento y mecanismos de evaluación que permitan medir su desempeño y contribuir a la mejora continua.

Finalmente, aunque la propuesta presentada se fundamenta en evidencia científica actual y responde a necesidades identificadas en la empresa estudiada, su implementación requiere adaptarse a las condiciones operativas, económicas y organizacionales de cada entorno empresarial. Futuras investigaciones deberían evaluar la efectividad, factibilidad y costo-beneficio de estos centros de rehabilitación en empresas ecuatorianas, con el fin de generar evidencia local que fortalezca la toma de decisiones en salud ocupacional.

Bibliografía

Andrade, P., Huerta, M., Rivas, D., Inga-Ortega, J., Ordonez, E., & Clotet, R. (2025). Ergonomic Assessment of Upper Limb Movements in Rose Cultivation Using a Custom Data Acquisition System. In P. S. Mendoza, C. Vilora-Nunez, & E. Ahumanda-Tello (Eds.), TEMSCON LATAM 2025 - Technology and Engineering Management Society Conference (TEMSCON LATAM 2025 - Technology and Engineering Management Society Conference). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., https://doi.org/10.1109/TEMSCONLATAM65810.2025.11238916

Arvidsson, I., Dahlqvist, C., Enquist, H., & Nordander, C. (2021). Action Levels for the Prevention of Work-Related Musculoskeletal Disorders in the Neck and Upper Extremities: A Proposal. Annals of Work Exposures and Health, 65(7), 741–747. https://doi.org/10.1093/annweh/wxab012

Dropkin, J., Roy, A., Szeinuk, J., Moline, J., & Baker, R. (2021). A primary care team approach to secondary prevention of work-related musculoskeletal disorders: Physical therapy perspectives. Work (Reading, Mass.), 70(4), 1195–1217. https://doi.org/10.3233/WOR-205139

Ekhammar, A., Fridén, S., & Larsson, M. E. H. (2025). They paid attention to the whole of me in some way, both physically, mentally, and everything in between: a qualitative study of patients' experiences of interdisciplinary rehabilitation (PREVSAM) in primary care for musculoskeletal disorders. Scandinavian Journal of Primary Health Care, 43(2), 380–391. https://doi.org/10.1080/02813432.2024.2447084

Grana, E., Galanis, P., Velonakis, E., Tziaferi, S., & Sourtzi, P. (2024). Investigating the Effectiveness of a Workplace Musculoskeletal Disorders Management Program. Healthcare (Basel, Switzerland), 12(18), 1815. https://doi.org/10.3390/healthcare12181815

Jin, X., Dong, Y., Yang, L., Huang, W., Cao, L., Zhang, Z., & He, L. (2025). Ergonomic interventions to improve musculoskeletal disorders among vehicle assembly workers: a one-year longitudinal study. BMC Public Health, 25(1), 824. https://doi.org/10.1186/s12889-025-21798-1

Lascano, A., Patín, G., Larrea, A., Antonio, T.S. (2019). Ergonomic Evaluation of Risk Level by Exposure to Forced Postures in Cattle Slaughterhouse Workers in Ecuador. In: Goossens, R. (eds) Advances in Social and Occupational Ergonomics. AHFE 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 792. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94000-7_22

Macdonald, W. A., & Oakman, J. (2024). Changes needed to reduce risk of musculoskeletal disorders. American Journal of Industrial Medicine, 67(7), 575–581. https://doi.org/10.1002/ajim.23613

Matuszewska, M., Rypicz, Ł., Witczak, I., & Kołcz, A. (2025). The Occupational Dimension of Musculoskeletal Disorders: A Comparison of Healthcare Workers and Administrative Staff Using the NMQ-E Tool. Journal of clinical medicine, 14(17), 6187. https://doi.org/10.3390/jcm14176187

Merino-Salazar P, Gómez-García AR, Silva-Peñaherrera GM, Suasnavas-Bermudez PR, Rojas M. The impact of ergonomic exposures on the occurrence of back pain or discomfort: Results from the first working conditions survey in Quito-Ecuador. En: Advances in Social & Occupational Ergonomics. Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 222-229. (Advances in Intelligent Systems and Computing). DOI: 10.1007/978-3-319-60828-0_23

Mohd Suadi Nata, D. H., Azlan Hisham, N., & Mohamad Jamil, P. A. S. (2025). Initial assessment of musculoskeletal disorders and ergonomics risk factors among laboratory workers, Kuala Lumpur. Work (Reading, Mass.), 80(4), 1733–1742. https://doi.org/10.1177/10519815241297470

Rogerson, S., Climstein, M., Meir, R., Crowley-McHattan, Z., & Chapman, N. (2024). Prevalence of musculoskeletal pain and dysfunction in electrical utility workers: Practical considerations for prevention and rehabilitation in the workplace. Australian Occupational Therapy Journal, 71(4), 499–512. https://doi.org/10.1111/1440-1630.12939

Soler-Font, M., Ramada, J. M., Montero-Moraga, J. M., Palencia-Sánchez, F., Merelles, A., Macdonald, E. B., & Serra, C. (2021). What is meant by case management for the return-to-work of workers with musculoskeletal disorders? A scoping review. Work (Reading, Mass.), 70(4), 1069–1087. https://doi.org/10.3233/WOR-205172

Stock, S., Nicolakakis, N., Cullen, K., Dionne, C. E., Franche, R. L., Lederer, V., MacDermid, J. C., MacEachen, E., Messing, K., & Nastasia, I. (2025). What Are the Determinants of the Sex/Gender Difference in Duration of Work Absence for Musculoskeletal Disorders? A Mixed-Studies Systematic Review. Healthcare (Basel, Switzerland), 13(24), 3228. https://doi.org/10.3390/healthcare13243228

Zaheer, S., Amir, Q., Waseem, H. F., Riaz, K., Zehra, N., Shakil, S., & Shoaib, M. (2023). Patterns of musculoskeletal disorders in health care providers and their association with ergonomic risks. International journal of occupational safety and ergonomics: JOSE, 29(4), 1523–1531. https://doi.org/10.1080/10803548.2022.2154483

Solovieva, S., Pehkonen, I., Kausto, J., Miranda, H., Shiri, R., Kauppinen, T., Heliövaara, M., Burdorf, A., Husgafvel-Pursiainen, K., & Viikari-Juntura, E. (2012). Development and validation of a job exposure matrix for physical risk factors in low back pain. PLOS ONE, 7(11), e48680. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048680

Madsen, I. E. H., Gupta, N., Budtz-Jørgensen, E., Bonde, J. P., Framke, E., Flachs, E. M., Petersen, S. B., Svane-Petersen, A. C., Holtermann, A., & Rugulies, R. (2018). Physical work demands and psychosocial working conditions as predictors of musculoskeletal pain: a cohort study comparing self-reported and job exposure matrix measurements. Occupational and Environmental Medicine, 75(10), 752–758. https://doi.org/10.1136/oemed-2018-105151

Sołoducho-Pelc, L., & Sulich, A. (2025). Artificial Intelligence in Academic Research: A Comparative Study of Scopus AI and Web of Science Research Assistant. Procedia Computer Science, 270, 6126-6135. https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.10.082

Sears, JM., Fulton-Kehoe, D. and Hogg-Johnson, S. (2021). Initial return to work and long-term employment patterns: Associations with work-related permanent impairment and with participation in workers' compensation-based return-to-work programs, American Journal of Industrial Medicine. 64(5), 323-337. https://doi.org/10.1002/ajim.23233

Bae, SW., Lee, MY., Park, SW., Lee, G., Leigh, JH. (2021). Satisfying medical and rehabilitation needs positively influences returning to work after a work-related injury: an analysis of national panel data from 2018 to 2019. BMC Public Health. 21(1). https://doi.org/10.1186/s12889-021-12064-1

Bernaers, L., Willems, TM., Rusu, D., Demoulin, C., van de Velde, D., Braeckman, L. (2026). Bridging the Gap Between Rehabilitation and Return to Work: A Qualitative Evaluation of a Workplace Intervention for Low Back Pain. J Occu Rehabil. 36(2), 534-548. https://doi.org/10.1007/s10926-025-10295-2

Bethge, M. (2017). Work-Related Medical Rehabilitation. Rehabilitation. 56(1), 14-21. https://doi.org/10.1055/s-0042-118579

Sepehrian, R., Hashjin, AA. & Farahmandnia, H. (2024). A systematic review of programs and interventions for reduction of sickness absence in nursing staff with work-related musculoskeletal disorders. Journal of education and health promotion. 13(1). https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_722_23

Tawfig, N., Farsi, S., Lary, A., Aggad, K. (2026). Measuring the influence of perceived organizational support, organizational hierarchy culture, strategic human resource management, and psychological empowerment on the return to work. Frontiers in rehabilitation sciences. 6(1). https://doi.org/10.3389/fresc.2025.1679281

Aasdahl, L., Gismervik, SO., Johnsen, R., Vasseljen, O., Bjornelv, GMW., Bjorngaard, JH., Fimland, MS. (2025). Effects of Inpatient Occupational Rehabilitation vs. Outpatient Acceptance and Commitment Therapy on Sick Leave and Cost of Lost Production: 7-Year Follow-Up of a Randomized Controlled Trial. Journal of occupational rehabilitation. 35(2), 288-293. https://doi.org/10.1007/s10926-024-10195-x

Kalski, L., Völkel, L., Häusler, S., Wolfarth, B. (2024). Efficacy of occupational rehabilitation in return to work for back pain: A systematic literature review. Work Work (Reading, Mass.). 78(1), 29-43. https://doi.org/10.3233/WOR-230277

Heathcote, K., Wullschleger, M., Sun, J. (2019). The effectiveness of multi-dimensional resilience rehabilitation programs after traumatic physical injuries: a systematic review and meta-analysis. Disability and Rrehabilitation. 41(24), 2865-2880. https://doi.org/10.1080/09638288.2018.1479780

Markovic, G., Bartfai, A., Schult, ML., Ekholm, J. (2024). Rehabilitation with intensive attention training early after acquired brain injury promotes better long-term status on health-related quality of life, daily activities, work ability and return to work. Journal of Rehabilitation Medicine. 56. https://doi.org/10.2340/jrm.v56.5308

Bethge, M. (2017). Work-Related Medical Rehabilitation. Rehabilitation. 1, 14-21. https://doi.org/10.1055/s-0042-118579

Schneider, U., Linder, R. and Verheyen, F. (2016). Long-term sick leave and the impact of a graded return-to-work program: evidence from Germany. Eur J Health Econ 17, 629-643. https://doi.org/10.1007/s10198-015-0707-8

Bökel, A., Levin, T., Sturm, C., Egen, C., Ostermann, A. (2025). Successful reintegration and economic viability: The entry bonus as a new measure for returning to work. Rehabilitation. https://doi.org/10.1055/a-2724-3608

Östlind, EK., Grahn, BE. and Stigmar, KE. (2021). Patients' experience of a workplace dialogue in physiotherapy practice in primary care: an interview study. European Journal of Physiotherapy. 1, 27-33. https://doi.org/10.1080/21679169.2019.1630853

Belyayev, A. and Smith, TD. (2022). Exploring Certified Hand Therapists roles in workplace injury prevention, treatment, rehabilitation, and collaboration with occupational safety professionals. WORK: A Journal of Prevention Assessment & Rehabilitation. 3, 1037-1043. https://doi.org/10.3233/WOR-211038

Courties, A., Daste, C., Homs, AF., Kouki, I., Alliot-Launois, F., Bialé, L., Cailleaux, PE., Cambon, A., Chapurlat, R., Chammas, M., Cormier, G., Fabre, MC., Gaud-Listrat, V., Latourte, A., Lopez, A., Maheu, E., Nayral, N., Rannou, F., Rat, AC., Rören, A., Roux, CH., Mathieu, S., Nguyen, C., Pers, YM., Sellam, J. (2026). French Societies of Rheumatology and of Physical and Rehabilitation Medicine recommendations for the management of people living with hand osteoarthritis. Joint Bone Spine. 93,2. https://doi.org/10.1016/j.jbspin.2025.106000

Guerra, S., Lambe, K., Manolova, G., Sadler, E., Sheehan, KJ. (2022). Multidisciplinary team healthcare professionals' perceptions of current and optimal acute rehabilitation, a hip fracture example A UK qualitative interview study informed by the Theoretical Domains Framework. PLOS ONE, 17(11). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0277986

Kevdzija, M & Marquardt, G. (2022). Stroke patients' nonscheduled activity during inpatient rehabilitation and its relationship with the architectural layout: A multicenter shadowing study. Topics in Stroke Rehabilitation. 1, 9-15. https://doi.org/10.1080/10749357.2020.1871281

Kaushal, N., Keith, N., Aguiñaga, S., Hagger, MS. (2020). Social Cognition and Socioecological Predictors of Home-Based Physical Activity Intentions, Planning, and Habits during the COVID-19 Pandemic. Behavioral sciences. 10(9). https://doi.org/10.3390/bs10090133

Wolf, E., Morisse, K., & Meister, S. (2025). Identifying Design Requirements for an Interactive Physiotherapy Dashboard With Decision Support for Clinical Movement Analysis of Musicians With Musculoskeletal Problems: Qualitative User Research Study. MIR Hum Factors. https://doi.org/10.2196/65029

Hashemi, F., Eghbali, SR., Mallory-Hill, S., Hamedi, M. (2021). A method for prioritizing the modification of ergonomic and physical aspects of the workplace to enhance overall worker satisfaction in control centre buildings. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 27(2), 323-335. https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1872334

Foye, P. M., Sullivan, W. J., Sable, A. W., Panagos, A., Zuhosky, J. P., & Irwin, R. W. (2007). Industrial medicine and acute musculoskeletal rehabilitation. 3. Work-related musculoskeletal conditions: the role for physical therapy, occupational therapy, bracing, and modalities. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 88(3 Suppl 1), S14–S17. https://doi.org/10.1016/j.apmr.2006.12.010

Bobby, N.N., Saravanan, V., Shanthiny, R., & Jenifer J. (2025). Advanced Materials for Biomedical Devices: Insights from AI and Nanotechnology. 395-412. https://doi.org/10.1201/9781003651772-35

Gideon Asuquo, E., Tighe, S. M., & Bradshaw, C. (2021). Interventions to reduce work-related musculoskeletal disorders among healthcare staff in nursing homes; An integrative literature review.

International Journal of Nursing Studies Advances, 3, 100033. https://doi.org/10.1016/j.ijnsa.2021.100033

Luo, W., Furuya, A., Nagatsuma, A., Anzai, H. & Mitsui., K. (2018). Transactions of Japanese Society for Medical and Biological Engineering. Japan Soc. of Med. Electronics and Biol. Engineering, 56, 63-65. https://doi.org/10.11239/jsmbe.Annual56.63

Wu, S., Huang, J., Jing, S., Xie, H., & Zhou, S. (2023). Biodegradable Shape-Memory Ionogels as Green and Adaptive Wearable Electronics Toward Physical Rehabilitation. Advanced Functional Materials, 33(36), 2303292. https://doi.org/10.1002/adfm.202303292

González-Seguel, F., Eggmann, S., Gustafson, O., Mayer, K., Parry, S.M. & Villalba. D. (2026). In book: Post-Intensive Care Syndrome: A Practical Approach. Physical Rehabilitation in the ICU and Hospital, 12, 150-165. https://doi.org/10.1017/9781009501477.013

Sycheva M.G. (2018). Physical rehabilitation of patients with chronic respiratory diseases: the optimal organization under limited resources. PULMONOLOGIYA, 28(1), 110–117 (in Russian). https://doi.org/10.18093/0869-0189-2018-28-1-110-117

Van Eerd, D., Munhall, C., Irvin, E., Rempel, D., Brewer, S., van der Beek, A. J., Dennerlein, J. T., Tullar, J., Skivington, K., Pinion, C., & Amick, B. (2016). Effectiveness of workplace interventions in the prevention of upper extremity musculoskeletal disorders and symptoms: an update of the evidence. Occupational and Environmental Medicine, 73(1), 62–70. https://doi.org/10.1136/oemed-2015-102992

Nayak, U. U., Nayak, P., George, B. M., Maiya, G. A., & Mohandas Rao, K. G. (2026). Mapping interventions for the prevention and management of Work-related musculoskeletal disorders among Radiographers: A scoping review. Radiography (London, England: 1995), 32(2), 103301. https://doi.org/10.1016/j.radi.2025.103301

Bernardes, J. M., Ruiz-Frutos, C., Moro, A. R. P., & Dias, A. (2021). A low-cost and efficient participatory ergonomic intervention to reduce the burden of work-related musculoskeletal disorders in an industrially developing country: an experience report. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics: 27(2), 452–459. https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1577045

U Nayak, U., Mohapatra, S., George, B. M., J, V., Maiya, G. A., & K G, M. R. (2026). Effectiveness of a Co-Designed Workplace-Based Intervention Program on Pain, Functional Limitation and Quality of Life Among Radiographers- A Study Protocol. IISE Transactions on Occupational Ergonomics and Human Factors, 1–11. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/24725838.2026.2653520

Batista, S., Amaral, O., Rocha, P., Batista, A.R.A., Borrego, C.M.M., Dias, I.M.G.P. & dos Santos, L.R. (2025). Public Health Risks: Detection, Management and Control. In book: Nova Science Publishers, Inc., 43-67. ISBN 979-890134019-6, 979-889530936-0

Gideon Asuquo, E., Tighe, S. M., & Bradshaw, C. (2021). Interventions to reduce work-related musculoskeletal disorders among healthcare staff in nursing homes; An integrative literature review. International Journal of Nursing Studies Advances, 3, 100033. https://doi.org/10.1016/j.ijnsa.2021.100033

van de Wijdeven, B., Visser, B., Daams, J., & Kuijer, P. P. F. M. (2023). A first step towards a framework for interventions for individual working practice to prevent work-related musculoskeletal disorders: a scoping review. BMC Musculoskeletal Disorders, 24(1), 87. https://doi.org/10.1186/s12891-023-06155-w

Briand, C., Durand, M. J., St-Arnaud, L., & Corbière, M. (2008). How well do return-to-work interventions for musculoskeletal conditions address the multicausality of work disability?. J Occup Rehabil, 18(2), 207–217. https://doi.org/10.1007/s10926-008-9128-1

Skagseth, M., Fimland, M. S., Rise, M. B., Johnsen, R., Borchgrevink, P. C., & Aasdahl, L. (2020). Effectiveness of adding a workplace intervention to an inpatient multimodal occupational rehabilitation program: A randomized clinical trial. Scand J Work, Environ Health, 46(4), 356–363. https://doi.org/10.5271/sjweh.3873

Knapp, S., Briest, J., & Bethge, M. (2015). Work-related rehabilitation aftercare for patients with musculoskeletal disorders: results of a randomized-controlled multicenter trial. International Journal of

Rehabilitation Research, 38(3), 226-232. https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000117

Hara, K. W., Bjørngaard, J. H., Brage, S., Borchgrevink, P. C., Halsteinli, V., Stiles, T. C., Johnsen, R., & Woodhouse, A. (2018). Randomized Controlled Trial of Adding Telephone Follow-Up to an Occupational Rehabilitation Program to Increase Work Participation. J Occup Rehabil, 28, 265–278. https://doi.org/10.1007/s10926-017-9711-4

Neuderth, S., Schwarz, B., Gerlich, C., Schuler, M., Markus, M., & Bethge, M. (2016). Work-related medical rehabilitation in patients with musculoskeletal disorders: the protocol of a propensity score matched effectiveness study (EVA-WMR, DRKS00009780). BMC Public Health, 16, 804. https://doi.org/10.1186/s12889-016-3437-7

Streibelt, M., & Bethge, M. (2014). Effects of intensified work-related multidisciplinary rehabilitation on occupational participation: a randomized-controlled trial in patients with chronic musculoskeletal disorders. International Journal of Rehabilitation Research, 37(1), 61–66. https://doi.org/10.1097/MRR.0000000000000031

Cheng, A. S., & Hung, L. K. (2007). Randomized controlled trial of workplace-based rehabilitation for work-related rotator cuff disorder. J Occup Rehabil, 17, 487–503. https://doi.org/10.1007/s10926-007-9085-0

Durand, M. J., Vézina, N., Loisel, P., Baril, R., Richard, M. C., & Diallo, B. (2007). Workplace interventions for workers with musculoskeletal disabilities: a descriptive review of content. J Occup Rehabil 17, 123–136. https://doi.org/10.1007/s10926-006-9036-1

Fauser, D., Zimmer, J. M., Banaschak, H., Golla, A., Sternberg, A., Mau, W., & Bethge, M. (2024). Use of a job exposure matrix to predict the risk of work disability in individuals with back pain: An inception cohort study. Work (Reading, Mass.), 78(3), 829–839. https://doi.org/10.3233/WOR-230410

Bernaers, L., Willems, T. M., Lam, G. H., Mahy, M., Rusu, D., Demoulin, C., Van de Velde, D., & Braeckman, L. (2025). Experiences and perceptions of employees and healthcare professionals on a multidisciplinary program for the secondary prevention of low back pain. Sci Rep 15, 13091. https://doi.org/10.1038/s41598-025-97683-z

Wienert, J., Schwarz, B., & Bethge, M. (2016). Effectiveness of work-related medical rehabilitation in cancer patients: study protocol of a cluster-randomized multicenter trial. BMC cancer, 16, 544. https://doi.org/10.1186/s12885-016-2563-z

Makarm, W.K; Abu-Zaid, M.H; Alramadhani, I.A; Elsheikh, A.M & Zaghlol, R.S (2023). Quality Indicators for Rehabilitation Care among Patients with Rheumatic and Musculoskeletal Diseases: A Multicenter Study, Cross sectional study. Physikalische Medizin Rehabilitationsmedizin Kurortmedizin, 35(2), 110-118. https://doi.org/10.1055/a-2203-2631

Johansen, I., Klokkerud, M., Anke, A., Børke, J. B., Glott, T., Hauglie, U., Høyem, A., Klovning, A., Lande, K. A., Larsen, M., Nordvik, J. E., Wigers, S. H., Øyeflaten, I., Hagen, K. B., & Kjeken, I. (2019). A quality indicator set for use in rehabilitation team care of people with rheumatic and musculoskeletal diseases; development and pilot testing. BMC Health Services Research, 19(1), 265. https://doi.org/10.1186/s12913-019-4091-4

Sand-Svartrud, A. L., Berdal, G., Azimi, M., Bø, I., Dager, T. N., Eppeland, S. G., Fredheim, G. O., Hagland, A. S., Klokkeide, Å., Linge, A. D., Sexton, J., Tennebø, K., Valaas, H. L., Mjøsund, K., Dagfinrud, H., & Kjeken, I. (2022). Associations between quality of health care and clinical outcomes in patients with rheumatic and musculoskeletal diseases: a rehabilitation cohort study. BMC Musculoskeletal Disorders, 23(1), 357. https://doi.org/10.1186/s12891-022-05271-3

Sundstrup, E., Seeberg, K. G. V., Bengtsen, E., & Andersen, L. L. (2020). A Systematic Review of Workplace Interventions to Rehabilitate Musculoskeletal Disorders Among Employees with Physical Demanding Work. J Occup Rehabil, 30(4), 588–612. https://doi.org/10.1007/s10926-020-09879-x

Seeberg, K. G. V., Andersen, L. L., Bengtsen, E., & Sundstrup, E. (2019). Effectiveness of workplace interventions in rehabilitating musculoskeletal disorders and preventing its consequences among workers with physical and sedentary employment: systematic review protocol. Systematic Reviews, 8(1), 219. https://doi.org/10.1186/s13643-019-1127-0

Saltychev, M., Laimi, K., Pentti, J., Kivimäki, M., & Vahtera, J. (2014). Short- and long-term changes in perceived work ability after interdisciplinary rehabilitation of chronic musculoskeletal disorders: prospective cohort study among 854 rehabilitants. Clinical rehabilitation, 28(6), 592–603. https://doi.org/10.1177/0269215513513602

Durand, M. J., Vézina, N., Baril, R., Loisel, P., Richard, M. C., & Ngomo, S. (2009). Margin of manoeuvre indicators in the workplace during the rehabilitation process: a qualitative analysis. J Occup Rehabil, 19(2), 194–202. https://doi.org/10.1007/s10926-009-9173-4