



**Directrices metodológicas para estandarizar riesgos físicos y químicos en el Puerto de
Barranquilla**

Autores:

Rafael Ricardo Gómez Contreras

Melanis Luciel Rangel Pérez

Trabajo de grado como requisito para la obtención del título:

Especialista en Seguridad y Salud en el Trabajo

Director:

Pedro Jessid Pacheco Torres

Facultad de Ingeniería

Especialización en Seguridad y Salud en el Trabajo

Barranquilla

2026



**Directrices metodológicas para estandarizar riesgos físicos y químicos en el Puerto de
Barranquilla**

Autor:

Rafael Ricardo Gómez Contreras

Melania Luciel Rangel Pérez

Director:

Pedro Jessid Pacheco Torres

Facultad de Ingeniería

Especialización en Seguridad y Salud en el Trabajo

Barranquilla

2026

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	9
Planteamiento del problema	11
Pregunta Problema	16
Pregunta orientadora.....	16
Subpreguntas	16
Justificación.....	17
Objetivos	20
Objetivo General	20
Objetivos Específicos	20
2. MARCOS REFERENCIALES	21
Antecedentes	21
Investigaciones internacionales	21
Investigaciones regionales.....	23
Investigaciones nacionales	24
Marco teórico	27
Teoría de sistemas complejos aplicada a la seguridad laboral	27
Modelo de coexposición e interacción de factores higiénicos en ambientes tropicales	28
Enfoque de la estructura de alto nivel para la integración HSEQ	30
Conceptos fundamentales de la integración higiénica y toxicología ocupacional	33
Higiene industrial	33
Evaluación de exposición.....	33
Límites de exposición permisibles (TLVs)	34
Marco legal y normativo	34

Convenios multilaterales y recomendaciones prácticas de la OIT	34
Marco internacional de la higiene industrial y la gestión química (OIT e IMDG)	35
Convenio 170 productos químicos (OIT, 1990) y la recomendación 177 (OIT, 1990)	35
Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG) de la Organización Marítima Internacional (OMI, 2024).	36
Metodología de la Asociación Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, 2026)	36
Estándares internacionales de certificación: normas ISO 9001, 14001 y 45001	36
Régimen legal colombiano de seguridad y salud en el trabajo	37
Normativa nacional e instrumentos distritales de control ambiental	39
3. DISCUSIÓN.....	41
Tendencias teóricas y marcos normativos globales	45
Interacción del microclima de Barranquilla y variables operativas	46
Estructura de la directriz metodológica estandarizada HSEQ.....	46
4. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES OPERACIONALES, AMBIENTALES Y DE EXPOSICIÓN EN EL MICROCLIMA PORTUARIO DE BARRANQUILLA.....	48
5. COMPONENTES ESTRUCTURALES Y PROCEDIMENTALES DE LA DIRECTRIZ METODOLÓGICA ESTANDARIZADA HSEQ	52
Componentes estructurales del protocolo unificado	52
6. MÉTODO	58
Estrategia de búsqueda y fuentes de información	58
Criterios de inclusión y exclusión	59
Procedimiento de recolección y análisis de datos	59
7. CONCLUSIONES.....	62
8. REFERENCIAS	67

Listado de tablas

Tabla 1	Análisis crítico de antecedentes y brechas de investigación.....	26
Tabla 2	Normativa Aplicada al Modelo HSEQ en el Régimen Colombiano e Internacional	40
Tabla 3	Variables operacionales, ambientales y exposición microclima portuario Barranquilla	50
Tabla 4	Operativización, correspondencia teórica y entregables de la monografía.....	61

Listado de figuras

Figura 1 *Modelo fisiopatológico de coexposición higiénica (estrés térmico + riesgo químico).* 32

Figura 2 *Componentes estructurales del protocolo unificado.....* 54

Figura 3 *Flujo procedimental e intervención higiénica.....* 57

Resumen

Históricamente las terminales portuarias se han caracterizado como ambientes de trabajo de alta carga y constante exposición a peligros, especialmente físicos y químicos. No obstante, la evaluación del riesgo higiénico en estos entornos, ha operado bajo orientaciones reduccionistas y análisis segmentados de las variables presentes. Esta investigación propone unas directrices metodológicas unificadas, desde los marcos normativos nacionales e internacionales vigentes, contrastada con literatura científica de gestión de la seguridad y salud en el trabajo. Se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, basado en análisis documental, mediante revisión sistemática y exhaustiva de 52 fuentes indexadas y normativas técnicas específicas vigentes. Los resultados infieren condiciones climáticas extremas, estrés térmico y manipulación de mercancías peligrosas que carecen de un protocolo unificado de intervención. A partir de este diseño documental basado en evidencia teórica, sin recurrir a validaciones experimentales de campo se concluye, mediante inferencias analíticas que la estandarización metodológica HSEQ optimiza la predictibilidad del riesgo y salvaguarda la integridad de los operarios, ante la coexposición sinérgica en entornos tropicales.

Palabras clave: higiene industrial, riesgo físico, riesgo químico, operaciones portuarias, estandarización

Abstract

Historically, port terminals have been characterized as high-workload environments with constant exposure to occupational hazards, particularly physical and chemical risks. However, hygienic risk assessment in these settings has traditionally operated under reductionist approaches and segmented analyses of the involved variables. This research proposes unified methodological guidelines based on current national and international regulatory frameworks, contrasted with scientific literature on occupational safety and health management. It was developed under a qualitative approach through a documentary analysis, utilizing a systematic and exhaustive review of 52 indexed sources and specific technical regulations. The results infer that extreme weather conditions, thermal stress, and the handling of dangerous goods currently lack a unified intervention protocol. Based on this documentary design and without resorting to experimental field validations, it is concluded, through analytical inferences derived from theoretical evidence, that HSEQ methodological standardization optimizes risk predictability and safeguards workers' health against synergistic co-exposure in tropical environments.

Keywords: industrial hygiene, physical risk, chemical risk, port operations, standardization.

INTRODUCCIÓN

La presente monografía aborda la problemática de la seguridad y salud en el trabajo, centrando sus análisis y discusiones en los riesgos físicos y químicos dentro de las actividades portuarias del Distrito de Barranquilla, donde se identifica una fragmentación en la gestión de la salud ocupacional, la cual demanda lineamientos técnicos unificados que minimicen los impactos inherentes a una de las actividades económicas consideradas de mayor riesgo, siniestralidad y patologías ocupacionales asociadas, según por la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2019). En tal sentido busca identificar y proponer directrices metodológicas que unifiquen las dimensiones esenciales para la prevención de riesgos físicos y químicos, mediante un mecanismo ágil que robustezca el tejido empresarial portuario, asegurando la sostenibilidad industrial de las cadenas de suministros marítimas, de cara al escenario global.

Para alcanzar este propósito o finalidad principal, la investigación plantea tres metas específicas secuenciales de apoyo, las cuales dan respuesta a las subpreguntas de investigación, coadyuvando a su exitosa concreción, de la mano del diseño metodológico propuesto.

El primero se enfoca en identificar y caracterizar las tipologías de riesgos críticos operacionales, físicos y químicos que confluyen en la actividad logística. El segundo objetivo se orienta a establecer la correlación analítica entre los requisitos de control de las normas de estandarización internacional y los macroprocesos de las terminales. Y el tercero concreta los componentes estructurales, procedimentales o directrices metodológicas para la estandarización de los procesos de evaluación. La jerarquización de este proceso es intencional y se orienta a facilitar que, al momento de transferir los resultados, las Pymes que integran el tejido empresarial portuario del distrito, tenga la posibilidad de escalar su implementación de manera viable y práctica.

La metodología aplicada es de enfoque cualitativo con un alcance descriptivo, apoyado en un diseño de investigación de carácter documental. Es por esto que no requiere de intervención directa de informantes, ni trabajo de campo. Al prescindir de estos elementos, su rigor científico se aseguró en una rigurosa exploración y examen crítico de literatura indexada, complementada de un corpus legal que contempla, el marco legislativo internacional y el conjunto normativo aplicable en Colombia.

Del mismo modo el tratamiento de los datos se cuidó en consonancia con el paradigma metodológico seleccionado. Por tanto, el proceso de recopilación y clasificación de información se desarrolló usando fuentes especializadas de alto impacto académico y científico, mediante el uso de ecuaciones de búsqueda avanzada. Se establecieron como criterios de inclusión documentos, estudios e informes de elevada calidad editorial, con vigencia informativa en un horizonte de tiempo de cinco años, privilegiando la pertinencia académica de cada uno, guiado por el uso de las palabras claves, previamente establecidas como categorías de análisis.

En cuanto a su delimitación espacial se circunscribe al sector portuario, dentro del contexto de las empresas de servicios logísticos del Distrito de Barranquilla, Atlántico en Colombia. Su temporalidad de desarrollo es el año 2026 y abraza datos en el periodo comprendido entre los años 2020 a 2025 asegurando la vigencia de los hallazgos.

Conceptualmente se centra en las variables de control operacional HSEQ. En específico considera las particularidades bioclimáticas y operativas que encarnan los riesgos físicos y químicos del entorno laboral estudiado.

Para facilitar su lectura y comprensión el documento se organizó en cuatro secciones principales que guían al lector mediante una narrativa ordenada, que toma el mismo hilo conductor en el que se desarrolló el proceso investigativo.

Una primera sección contextualiza al leyente sobre el tema y los hechos que le rodean. Esta sección introductoria inicia con el planteamiento del problema, la presentación de los cuestionamientos que motivan el estudio y justifican su pertinencia académica e impactos, cerrando este apartado con la formulación de los objetivos que guían la investigación.

Un segundo acápite presenta el desarrollo del cuerpo de la monografía, estructurada a través de los marcos de antecedentes, teórico, conceptual y legal, los cuales desglosan los soportes científicos, las teorías sistémicas y la reglamentación nacional aplicable en la que se sustentan los análisis y discusiones que dan lugar a las directrices metodológicas propuestas para estandarizar riesgos físicos y químicos en el puerto de Barranquilla, razón de ser de este trabajo.

Un tercer apartado detalla el diseño metodológico, explicitando las fuentes consultadas, los criterios de búsqueda y las fases de análisis. La cuarta sección finaliza el documento, presentando las conclusiones que sintetizan los hallazgos en correspondencia con los objetivos formulados, a la luz de los referentes teóricos que respaldan el rigor del trabajo. También se presentan unas recomendaciones finales, junto a una exhortación sobre la prospectiva del tema, esperando que nuevos investigadores encuentren valiosas lecciones aprendidas y nuevos interrogantes y abordajes dada la relevancia de esta línea de investigación.

Planteamiento del problema

Los nodos portuarios determinan en gran medida la eficiencia y continuidad de los suministros globales y por ende la sostenibilidad del comercio internacional. Cada eslabón del

tejido empresarial logístico portuario, opera en modelos complejos de interacción continua, que combina; robustas infraestructuras, maquinaria pesada, flujo ininterrumpido veinticuatro horas, los siete días de la semana, en sus flotas multimodales, terminales y empresas de servicios logísticos asociadas. En tal sentido, la población trabajadora está sometida a una alta presión y amalgama de riesgos críticos que diezman su integridad y amenazan su seguridad física. Cabe resaltar que en su recorrido histórico la gestión portuaria ha estado asociada íntimamente a la producción y tiempos de ciclo, siendo los conceptos de bienestar humano contemporáneos, muy a pesar de que la excelencia operacional se encuentra intrínsecamente ligada a la preservación de condiciones laborales óptimas (Badiru & Osisanya, 2020; Trbojevic, 2022).

Sobre el particular, la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2019) identifica el sector portuario como una de las actividades económicas con mayores índices de siniestralidad y desarrollo de patologías ocupacionales. Estos riesgos, no se limitan a aspectos físicos o ergonómicos derivados de la manipulación de contenedores, tareas de trincaje en cubiertas, movimiento de graneles, entre otras, en su mayoría susceptibles de accidentalidad severa y con peligro de seguridad evidente (atrapamientos, caídas a distinto nivel, golpes por objetos suspendidos, etc.), dado que existen otros factores de riesgo emergentes de carácter higiénico y químicos (Al-Rubaiee, 2021; Karimi & Mohammadfam, 2021; Vergara-Gómez & Mendoza-Mendoza, 2023).

La literatura científica global expone una creciente preocupación por los peligros físicos y químicos, refiriéndose de manera específica al estrés térmico, como riesgo crítico dentro de las patologías ocupacionales en actividades de alta siniestralidad y conflicto, como el sector portuario. En tal sentido, Anselmo & Silva, (2024); García-Fenoll, (2022); Nunes & Simões-Marques (2022) al documentar los riesgos físicos, ambientales y de seguridad industrial que

conviven en la interfaz muelle, patio, buque, advierten la necesidad de unificar procedimientos de control operativo, para minimizar la probabilidad de ocurrencia de fallas humanas, en el contexto de regiones tropicales con condiciones climáticas extremas, en especial en países en vía de desarrollo. Por tanto, esta problemática adquiere matices severos para el Distrito Portuario de Barranquilla, ante el desafío de ser el principal puerto de la costa Caribe colombiana, de cara al escenario comercial global (Vergara-Gómez & Mendoza-Mendoza (2023).

Badiru & Osisanya (2020) afirman que en la fragmentación estructural con la que las organizaciones gestionan sus procesos, subyacen las causas del problema de seguridad ocupacional del sector. Por su parte, el trabajo de Martínez-Flores (2023) converge con estas ideas sugiriendo la necesidad de alinear los objetivos comerciales, con una cultura y política de prevención. Esta visión debe ser compartida por todo el gremio, no solo en las grandes empresas, sino abrazando contratistas, operadoras logísticas y consultoras. Dado que el fenómeno de los ritmos de trabajo intensos y sus exigencias constantes, permea por igual a todos los operarios que atienden la logística portuaria sin distingo de su fuente de vinculación laboral.

En el mismo orden de ideas, Nunes & Simões-Marques (2022) subrayan la ausencia de un marco metodológico unificado, duplicidad de esfuerzos documentales y puntos ciegos en el control operativo, que antes de solucionar los problemas por sobrecarga de trabajo, generan mayor presión mental en el personal operativo, especialmente ante turnos rotativos nocturnos. Anselmo y Silva (2024) comprueban cuantitativamente que la sobrecarga y el estrés físico actúan como predictores directos del cincuenta y cuatro por ciento de los errores en del servicio logístico y los cuellos de botella en los patios de contenedores, lo que evidencia que un trabajador afectado por el entorno laboral es propenso a cometer fallas que alteran la seguridad.

Cabe resaltar que no hay ganadores resultantes de esta desarticulación, pero sí negativos efectos que permean tanto a empresas como trabajadores. Un operario expuesto a riesgos físicos y químicos es vulnerable a trastornos musculoesqueléticos, hipoacusia neurosensorial, fatiga crónica y crisis de ansiedad, que impactan a nivel legal, corporativo y humano a todos sus actores. (Cooper & Quick, 2022; Zwetsloot & Leka, 2021). Para las empresas, esto se traduce en elevadas tasas de ausentismo laboral, incrementos en la accidentabilidad y penalizaciones económicas.

En cuanto a las implicaciones legales del problema, el ordenamiento jurídico en Colombia regula las actividades de riesgo máximo, dentro de las que se incluyen las actividades portuarias, mediante el Decreto 1072 de 2015 y la Resolución 0312 de 2019. No obstante autores como Sampson & Ellis (2021) han identificado que, aunque las grandes empresas portuarias cuentan con certificaciones en normas ISO 9001, 14001 y 45001, sus contratistas de servicios logísticos evidencian la carencia de herramientas estandarizadas y de fácil implementación para su gestión y evaluación de riesgos ocupacionales. Teniendo en cuenta que estos prestadores son pequeñas y medianas empresas con limitaciones para acceder y responder a las exigencias del mercado global, se demandan instrumentos metodológicos específicos adaptados a las condiciones operacionales y a las vulnerabilidades ecosistémicas de las terminales de la región Caribe.

La urgencia de atender la problemática descrita, es evidente en los datos de siniestralidad del nodo portuario de Barranquilla. Según los perfiles epidemiológicos locales e informes sectoriales de las Administradoras de Riesgos Laborales (ARL), la tasa de accidentalidad sostenida, supera el 7.8% anual en las actividades de la interfaz muelle-patio-buque (Vergara-Gómez & Mendoza-Mendoza, 2023; Sánchez-Herrera, 2024). Cabe resaltar que este indicador se ubica muy por encima de la media nacional, dentro los puestos de trabajo del sector transporte y

almacenamiento, según indican los consolidados estadísticos de la Federación de Aseguradores Colombianos (FASECOLDA, 2025) y el Consejo Colombiano de Seguridad (CCS, 2025).

También reportan las mencionadas fuentes institucionales encargadas del monitoreo epidemiológico e indicadores de salud y seguridad en el trabajo, tanto del contexto local y como en específico del sector portuario, que, durante las labores de transferencia de materiales secos, el particulado respirado por los operarios supera el 15% de los límites (TLV-TWA) permitidos. Datos que según Sanchez-Herrera, (2024) son constantes durante la máxima densidad de la labor logística, según indica su evaluación de higiene industrial en la zona portuaria Caribe. Otro dato alarmante revela Vergara-Gómez & Mendoza-Mendoza (2023) en su perfil epidemiológico de los trabajadores de la interfaz portuaria de Barranquilla, el cual infiere que el 42% del ausentismo laboral reportado en las planillas de contratistas portuarios, obedecen a patologías respiratorias, fatiga neuromuscular y trastornos cardiovasculares de origen térmico.

Con base en los anteriores datos queda claro que las medidas de control actuales han sido insuficientes. Así las cosas, la coexposición sinérgica de variables como estrés térmico severo, agentes químicos dispersos y sobrecarga física, entre otras, esta causando un impacto progresivo en la población trabajadora portuaria. Ante estas dificultades severas, el sector demanda planes de intervención que respondan a las necesidades descritas e inherentes oportunidades que de ellas se derivan.

Pregunta Problema

Para responder a la problemática descrita, se formulan las siguientes preguntas problematizadoras de investigación:

Pregunta orientadora

¿Qué directrices metodológicas fundamentadas en los marcos normativos y la literatura científica HSEQ permiten estandarizar la evaluación y control de los riesgos físicos y químicos en el puerto de Barranquilla

Subpreguntas

¿Cuáles son las tendencias teóricas vigentes en la literatura científica indexada y las exigencias de los marcos normativos nacionales e internacionales respecto a la evaluación del estrés térmico y la gestión operativa de mercancías químicas peligrosas en terminales marítimas?

¿De qué manera las variables ambientales extremas del microclima de Barranquilla interactúan con los factores operacionales de exposición higiénica para condicionar los índices de siniestralidad y morbilidad laboral de los operarios de muelle?

¿Qué lineamientos técnicos, criterios de ingeniería y protocolos administrativos deben constituir la estructura de una directriz metodológica estandarizada orientada a unificar los procesos de evaluación e intervención de riesgos físicos y químicos en los terminales locales?

Justificación

Una de las principales motivaciones de este trabajo surge como respuesta a la tendencia de comercio global, que le apuesta al aseguramiento de entornos de trabajo dignos, caracterizados por la protección integral de la población laboral. Esta preocupación, adquiere gran relevancia en las terminales portuarias, donde además se deben atender exigentes marcos normativos, que exhortan a buenas prácticas, cuyas directrices tienen como punto de partida las recomendaciones fijadas por la Organización Mundial del Trabajo OIT (2019), en un amplio repertorio de intervención que si bien privilegia la protección del capital humano, equilibra la estabilidad de estos entornos, con las presiones del mercado, desde una perspectiva de prevención.

En el ámbito nacional, esta visión esta plasmada en el Decreto 1072 de 2015 y la Resolución 0312 de 2019 del Ministerio del Transporte, los cuales ordenan las actividades económicas catalogadas como de máximo nivel de riesgo y en consonancia estructura el sistema de gestión preventivo y la evaluación periódica de riesgos inherentes a los nodos de transferencia marítima, que en las zonas tropicales imponen exigencias extremas a los operarios debido a variables físicas como la radiación solar directa y los altos índices de humedad. En tal sentido, este trabajo profundiza en los mecanismos de control para mitigar el estrés térmico por calor y la deshidratación, condiciones que deterioran de forma directa las capacidades cognitivas y motoras del personal (Vergara-Gómez y Mendoza-Mendoza, 2023).

Por otra parte, esta investigación aporta resultados específicos para mejorar la seguridad en el trabajo y la salud de los operarios portuarios, al centrarse en variables puntuales del contexto estudiado, tales como; climáticas, jornadas extendidas, turnos rotativos nocturnos, presión por tiempos estrictos de carga y descarga, entre otros, con gran potencial de generar sobrecarga laboral, fatiga neuromuscular crónica, riesgos físicos y químicos. Autores como Karimi &

Mohammadfam (2021); Al-Rubaiee, M. (2021); Martínez-Flores, C. (2023), subrayan que la fatiga cognitiva conlleva a disminución de atención y multiplicando errores en el manejo de maquinaria pesadas como grúas pórtico o montacargas. Al enfocarse esta propuesta en examinar las interconexiones descritas, las cuales demuestran que el problema trasciende la entrega de elementos de protección e instancias de capacitación, sus resultados aportan como valor agregado, pautas organizaciones de alto impacto preventivo, al fundamentarse en la capacidad de respuesta humana.

Dado que parte de una revisión teórica exhaustiva, que se complementa con la sistematización de relaciones causas efecto sobre exposición a ambientes severos y tasa de ausencias laborales, la investigación permite diseñar directrices técnicas detalladas, clasificar e indexar riesgos higiénicos, ergonómicos y mecánicos del sector portuario de Barranquilla, lo que constituye construcción de conocimiento particular para el territorio, frente a otras investigaciones homologas; generales, genéricas o distantes de la realidad técnica de las empresas locales de servicios logísticos que operan en el Caribe colombiano. En tal sentido, responde a la necesidad de la academia de transferir el saber al hacer. De manera puntual cerrando la brecha existente entre los estándares de seguridad y salud en el trabajo, exigidos por las auditorías internacionales y las prácticas reales de prevención que suceden en los patios portuarios.

Así las cosas, a partir de diagnósticos precisos, es posible diseñar puestos de trabajo seguros, optimizando recursos que antes se destinaban a la vigilancia epidemiológica. Es decir, la reducción de la accidentalidad y el ausentismo laboral, es la consecuencia de construir entornos laborales dignos donde se privilegia el bienestar de los trabajadores y estos elevan sus capacidades, lo que inherentemente se constituye en valor para la empresa, traducido en

sostenibilidad organizacional moderna. Cabe resaltar que estas ideas no solo encierran el impacto social del proyecto, sino que fortalecen su relevancia académica para la facultad de ingenierías y disciplinar de la especialización en seguridad y salud en el trabajo, dado que, al aportar soluciones a los problemas reales de las empresas del territorio, permite la aplicación integrada de los aprendizajes sobre seguridad humana y sostenibilidad empresarial, desde una visión holística y ecosistémica.

Teniendo en cuenta la complejidad higiénica del sector portuario y la heterogeneidad presente en su cadena de valor, el aporte científico de este trabajo se resume en su capacidad de acercar el rigor metodológico que requiere la evaluación de los riesgos físicos y químicos no solo para las grandes empresas operadoras, sino la posibilidad de transferencia para las pequeñas y medianas empresas contratistas, operadoras y prestadoras de servicios en la interfase muelle-puerto. La propuesta del modelo unificado HSEQ adaptado a la fisiopatología tropical, también ofrece como valor agregado su aplicabilidad por parte de todos los actores del proceso portuario.

Cabe resaltar que del mismo que se identifica una brecha entre los actuales modelos tradicionales concebidos desde un enfoque reduccionista, que evalúa los riesgos de manera aislada e independiente. Y las realidades que se viven en la cotidianidad del entorno portuario, orientado la productividad, sujeto a la presión de tiempos, intensos flujos de trabajo, en medio de la complejidad climática, esfuerzo físico y exposición de agentes contaminantes. Una disonancia paralela ocurre con la aplicación de la normativa de salud y seguridad en el trabajo por parte de las grandes empresas operadoras logísticas y portuarias, que dado su tamaño cuentan con todas las certificaciones de cumplimiento. Caso que no ocurre con las pequeñas contratistas, que ante el vacío de estandarización, evalúan los riesgos de manera aislada e independiente.

Deste el anterior contexto, las directrices metodológicas de estandarización de la evaluación y control de riesgos físicos y químicos propuestas por este trabajo, transforman la higiene industrial estática e individual, en un marco predictivo y multipeligro, que aporta una solución científica, moderna, dinámica e interactiva, frente la ecuación fisiopatológica de coexposición higiénica (estrés térmico + riesgo químico) que debe atender un sector de alto riesgo como el portuario, para optimizar las condiciones de higiene, seguridad y salud de sus trabajadores.

Objetivos

Para guiar esta investigación se formulan como fines principal y submetas de apoyo:

Objetivo General

Proponer directrices metodológicas de estandarización de la evaluación y control de riesgos físicos y químicos en el puerto de Barranquilla, mediante una revisión documental profunda y el marco normativo HSEQ, para la optimización de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo en el sector portuario.

Objetivos Específicos

- Analizar la literatura científica indexada y el marco normativo vigente relativo a la gestión de riesgos físicos, estrés térmico y manipulación de sustancias químicas en terminales portuarias.
- Identificar las variables operacionales, ambientales y de exposición que inciden en la siniestralidad laboral dentro del microclima portuario de Barranquilla.
- Definir los componentes estructurales y procedimentales de la directriz metodológica para la estandarización de los procesos de evaluación e intervención higiénica en los terminales locales.

2. MARCOS REFERENCIALES

Antecedentes

Esta sección tiene como propósito situar la problemática de la coexposición higiénica en el marco científico contemporáneo. Para ello se presenta un resumen del recorrido histórico desde una mirada global, regional, aterrizando en el contexto colombiano. Para ello se han seleccionado los estudios empíricos más relevantes en relación con las categorías de análisis de la investigación. Del mismo modo, estos referentes fueron seleccionados por sus particulares enfoques y abordajes, de modo que fuera posible mostrar desde las posturas puramente mecánicas, hasta transicionar a trabajos que promueven evaluaciones del riesgo desde un enfoque sinérgico que contempla variables físicas, químicas e incluso ambientales.

Investigaciones internacionales

La elevada carga de trabajo de los nodos logístico portuarios, ha sido tema de estudio global, en la que se identifican sólidas líneas de investigación. El primer referente destacado fue desarrollado por Karimi & Mohammadfam (2021) en el Reino Unido y Arabia Saudita. Su trabajo es un estudio sistemático que combina la evaluación de riesgos de salud y seguridad en terminales automatizadas y semiautomatizadas de contenedores, mediante modelos de lógica difusa. Luego de comparar ambos procesos, demuestran que la incorporación de tecnología de punta, no evita la continua exposición a vibraciones de cuerpo entero y ruidos intermitentes a la que son expuestos los *gantry cranes* (operarios de grúas pórticos), los cuales alcanzan oscilaciones entre los 82 y 88 decibeles (dBA). Del mismo modo, concluyen que los trabajadores vinculados a las empresas contratistas portuarias tienen una probabilidad superior al 34% de tener incidentes operacionales como consecuencia de la fatiga acumulada. Sobre el particular

subrayan que la desarticulación en los sistemas de vigilancia epidemiológica agrava la vulnerabilidad a eventos adversos.

Otro importante estudio homólogo fue realizado por Al-Rubaiee (2021) en las terminales marítimas del Medio Oriente. El investigador aborda la problemática epidemiológica en la gestión portuaria del Medio Oriente desde un enfoque de gestión preventiva de riesgos, fundamentado en la metodología multicriterio de la matriz HSEQ. Al analizar la toma de decisiones bajo este modelo, afirma que el 42% de las enfermedades laborales reportadas entre los operarios de muelle están directamente relacionadas con la criticidad del entorno, donde ya se ha hecho común entre quienes laboran en las actividades logístico operativas padecer de patologías respiratorias crónicas y problemas cardiovasculares.

El dato más significativo de esta investigación concuerda con la premisa de que las mediciones higiénicas aisladas suelen subestimar hasta en un 25% el riesgo real. En tal sentido explica que los protocolos estándar no están diseñados para considerar las realidades de la operación cuando se presentan los picos temporales de presión, en los cuales las emisiones de graneles químicos y el manejo de mercancías peligrosas ocurren de manera simultánea.

En la misma línea de trabajo, Anselmo & Silva (2024) abren el debate sobre la relación multifactorial de los riesgos físicos, químicos y ambientales presentes en las terminales europeas, caracterizadas por ser las más grandes cadenas de suministro global y por ende medio de incubación de riesgos ambientales, sobrecarga de trabajo y los consecuentes errores que de estos grandes flujos de trabajo se derivan. Afirman estos autores que la sobrecarga termina y mental se constituye en un predictor directo de errores operacionales en los patios de los contenedores, que indica superan más de la mitad (54%) de los incidentes adversos. Además, concluyen que los

trabajadores diezman su capacidad de reacción cuando deben atender turnos rotativos intensos, y laborar expuestos a atmósferas con presencia de vapores orgánicos residuales. Subrayan que esta sobrecarga térmica y mental incrementa la tasa de siniestralidad, producto de lo que denominan un efecto neurotóxico sutil que casi siempre en las últimas horas de las extensas jornadas laborales.

Investigaciones regionales

América Latina y el Caribe por ser un entorno rodeado de variables bioclimáticas extremas y cambiantes, sus condiciones han despertado el interés de los investigadores regionales en torno a la salud ocupacional de sus puertos. Entre ellos se destaca la investigación de Nunes & Simões-Marques (2022) en la que proponen uno de los modelos conceptuales más relevantes para evaluar la fatiga humana en el contexto de las operaciones portuarias. Coinciden con las premisas del presente trabajo monográfico, en torno a la ausencia de metodologías unificadas para el control del estrés térmico, en específico que hayan considerado las variables particulares del litoral Caribe. Sobre el particular indican que, en las terminales de carga expuestas a climas tropicales, los índices de temperatura de globo y bulbo húmedo (TGBH) superan los límites recomendados por la normativa internacional durante más de seis horas por jornada, lo cual acelera la deshidratación y la pérdida de electrolitos en el personal operativo.

García-Fenoll (2022) comparten las mismas ideas y recomiendan de manera específica los sistemas de evaluación integrados HSEQ, indicando que en sector portuario se constituyen en la herramienta ideal de evaluación de riesgos y su capacidad para minimizar los accidentes de trabajo, cuando la toma de decisiones se alinea a monitoreos de criterios multivariados. Como datos importantes de su trabajo se puede mencionar que, al estudiar empresas portuarias de la

región el 68% de las Pymes prestadoras de servicios de trincaje, pilotaje y mantenimiento a las grandes terminales latinoamericanas sorprendentemente operan sin estándares higiénicos rigurosos. No menos importante son las evidencias que aportan sobre la correlación positiva directa entre la fragmentación de los contratistas y la severidad de las lesiones musculoesqueléticas y respiratorias, confirmando que la falta de directrices metodológicas comunes en los puertos de la región perpetúa condiciones de vulnerabilidad laboral que afectan la competitividad del sector logístico.

Investigaciones nacionales

Colombia no es ajena al escenario antes descrito. Puntualmente el nodo portuario del Caribe adolece de intervenciones para la seguridad y salud de los operarios que laboran bajo la triada de riesgos críticos relacionados con sobrecarga de trabajo, manipulación de material peligroso y riesgos físicos inherentes a las ocupaciones logísticas. En tal sentido se destaca el trabajo de Vergara-Gómez & Mendoza-Mendoza (2023) dado que además de caracterizar los riesgos por estrés térmico presentes en el puerto de Barranquilla, analizan la complejidad laboral cotidiana de los operarios de patio y muelle. Enfatizan la alta carga metabólica superior a 300 kcal/h, la cual deben ejecutar en condiciones ambientales con una humedad relativa promedio que puede alcanzar el 82%, sumado a las temperaturas por encima de 35 grados Celsius.

Cabe resaltar que el clima tropical incrementa la susceptibilidad de los trabajadores a padecer fatiga neuromuscular crónica, inducida en la mayoría de los casos por la vasodilatación periférica prolongada que genera el inclemente clima del trópico. Del mismo modo indican que más del 18% del ausentismo del sector está relacionado con lesiones neuromusculares y fatiga crónica inherentes a la sobre carga de las actividades portuarias.

Por su parte Sánchez-Herrera (2024) quien desarrolló su investigación sobre el modelo de evaluación integrado HSEQ, aporta interesantes hallazgos sobre la salud ocupacional de las zonas francas y terminales multipropósito de Barranquilla. Su estudio revela que muy a pesar de que las grandes empresas que integran la super infraestructura portuaria están certificadas en ISO 45001, operan con contratistas prestadores de servicios logísticos que carecen de herramientas específicas adecuadas para evaluar los riesgos físicos y químicos de sus equipos, lo que infiere la vulnerabilidad presente en toda la cadena de valor del sector. La investigación documenta y demuestra que la dispersión de material particulado durante el movimiento de graneles sólidos en las márgenes del Río Magdalena interactúa con los altos niveles de radiación solar directa, generando afecciones dermatológicas y respiratorias en los estibadores que no son capturadas por las matrices de riesgo tradicionales.

Por último, cabe resaltar los resultados investigativos de tres destacados trabajos realizados en Barranquilla. El primero desarrollado por Martínez-Flores (2023) en su evaluación de la fatiga cognitiva y su impacto en el microclima laboral de los operadores de maquinaria pesada en el puerto de Barranquilla. Un interesante dato de este trabajo advierte como las cabinas de grúas y montacargas no climatizadas o calibración deficiente en dichos sistemas, se convierten en recintos de acumulación térmica. En la misma línea de Pertuz Meza et al. (2022) concluye que la combinación de estrés térmico micro ambiental, ruido de motores y vibración segmentaria reduce la atención selectiva del personal en un 40% después de la cuarta hora de turno continuo. Este diagnóstico es validado por Rodríguez-Sánchez (2021) cuya investigación demuestra la necesidad de proponer directrices metodológicas que unifiquen los criterios de evaluación e intervención para salvaguardar la integridad de la población trabajadora.

Luego de describir los hallazgos que integra el anterior estado de antecedentes, la siguiente tabla, presenta las convergencias teóricas y brechas metodológicas, derivadas del análisis comparativo entre investigaciones. Este mapeo permite identificar vacíos, limitaciones y oportunidades que justifican la necesidad de formular las directrices metodológicas propuestas para estandarizar riesgos físicos y químicos en el Puerto de Barranquilla

Tabla 1

Análisis crítico de antecedentes y brechas de investigación

Autores	Enfoque / Hallazgos	Limitaciones identificadas	Vacíos científicos detectados	Articulación/oportunidad propuesta HSEQ
Al-Rubaiee (2021); Anselmo & Silva (2024); Karimi & Mohammadfam (2021)	Convergencia en estructura y macro gestión: necesidad de robustecer sistemas integrados de gestión (HSEQ). Estándares internacionales alto nivel (ISO). Fragmentación documental de los riesgos aumenta índices accidentalidad industrial.	Modelos teóricos y descontextualizados: propuestas basadas en entornos industriales controlados, automatizados o de zonas templadas de primer mundo. No asumen informalidad cadena valor.	Omisión factor bioclimático: ignoran efectos severidad climática y estrés térmico extremo (ecuaciones riesgo químico).	Macro modelos integración HSEQ internacionales. Protocolo específico de higiene adaptado a realidad operativa local.
García-Fenoll (2022); Nunes & Simões-Marques (2022)	Estudian interfaz portuaria y gestión operativa de mercancías peligrosas. Coinciden en que los turnos rotativos y las exigencias de carga física disparan el error humano y la fatiga cognitiva operarios.	Centran análisis en factores de diseño puesto de trabajo, fatiga mental y flujos logísticos, dejando en un segundo plano las mediciones cuantitativas ambientales.	No evalúan el impacto fisiológico de la coexposición; analizan la fatiga por el esfuerzo y el riesgo químico por las hojas de seguridad (SGA) como variables separadas.	Conecta fatiga operacional portuaria con respuesta biológica acelerada por inhalación agentes contaminantes bajo estrés calórico.
Martínez-Flores (2023); Pertuz Meza et al. (2022); Rodríguez-Sánchez (2021); Sánchez-Herrera (2024); Vergara-Gómez & Mendoza-Mendoza (2023)	Caracterizan problemas críticos del Caribe colombiano. Monitorean la dispersión de material particulado y la correlación estadística entre la carga térmica de los muelles y las tasas de ausentismo por patologías respiratorias y cardiovasculares.	Operan bajo modelo tradicional de matrices legales (como GTC 45) o mediciones higiénicas puntuales aisladas. Se limitan a reportar el cumplimiento o exceso de la norma vigente.	El punto ciego fisiopatológico: Ninguno de los estudios nacionales formula un mecanismo de corrección matemática que penalice los límites permitidos (TLVs) de químicos cuando el operario sufre hiperventilación por calor.	Solución propuesta: cierra brecha nacional integrando un algoritmo heurístico que unifica los hallazgos de dispersión química y estrés térmico en una única directriz predictiva.

Fuente: elaboración propia a partir de la revisión y contrastación de la literatura científica citada (2021-2026).

Marco teórico

Partiendo de la premisa integrativa que plantea este estudio, el entramado conceptual en el que se fundamentan sus propuestas o directrices metodológicas, estas, también se formulan desde una postura de sinergia, en la evaluación y gestión de los riesgos presentes en los entornos portuarios, como estrategia para minimizarlos desde un enfoque preventivo integrado. Así las cosas, el abordaje teórico dista del tratamiento tradicional de la higiene industrial, que ha venido desarrollando el análisis aislado los contaminantes. En contraposición a la insuficiencia de la literatura existente, este apartado explica los perfiles de morbilidad en terminales de carga expuestas a dinámicas climáticas extremas, en torno a tres constructos teóricos esenciales; la teoría de sistemas complejos aplicada a la seguridad laboral, el modelo de coexposición e interacción de factores higiénicos en ambientes tropicales y el enfoque de la estructura de alto nivel para la Integración HSEQ.

Teoría de sistemas complejos aplicada a la seguridad laboral

Según Badiru & Osisanya (2020) las terminales portuarias operan como sistemas sociotécnicos complejos donde la tecnología, la infraestructura, los procesos logísticos y el factor humano interactúan bajo condiciones de alta variabilidad y demandas de tiempo estrictas. En tal sentido sugieren abordar la seguridad y salud ocupacional desde una nueva mirada sistémica integral, aduciendo que los modelos lineales de causalidad de accidentes resultan insuficientes para condiciones reales del sector. Bautista et al, comparte estas ideas y las complementa indicando que el riesgo es un factor dinámico y no un elemento estático que pueda introducirse de manera lineal a los procesos esperando resultados absolutos o plenos. En contraposición lo describe como una propiedad emergente que presenta interacciones deficientes entre sus componentes sistémicos.

Esta complejidad también descrita por Trbojevic (2022) es aplicable al puerto de Barranquilla, donde múltiples contratistas intervienen en los procesos de la interfaz muelle patio y existe una fragmentación en la contratación de operaciones, que en muchos procesos configuran superposición entre estas empresas intervinientes, presentándose puntos ciegos, duplicación de evaluaciones e inclusive ausencia de ciertos controles que en gran parte ocurren por la falta de estandarización. Esta fragmentación metodológica perturba el sistema y ante la presión por cumplir con los tiempos de rotación de los buques (*lead time*), da lugar a incrementar la probabilidad de fallas humanas. En tal sentido, la teoría de sistemas complejos demuestra que la negligencia de los operarios no es la única fuente de errores operativos. Por lo general es la acumulación de fallas organizacionales lo que engendra fallas latentes. Así las cosas, se demuestra la importancia de unificar criterios de evaluación de riesgos bajo un único estándar.

Cabe resaltar la necesidad de que la metodología multicriterio de la matriz HSEQ propuesta debe implementarse bajo directrices que respondan a la misma visión holística de integralidad. Además, esta debe ser escalable, ágil y comprensible para todos los actores del sector logístico portuario, sin distinción de su tamaño o rol dentro de la cadena de valor (Hoyos, 2023; Zwetsloot & Leka, 2021; Cooper, 2022)

Modelo de coexposición e interacción de factores higiénicos en ambientes tropicales

La gestión gerencial de la seguridad y la salud en el trabajo contemporánea, se guía bajo modelos denominados de coexposición e interacción factorial, paradigmas que se configuran bajo el reconocimiento integrado de agentes físicos, químicos y ambientales que está comprobado alteran los mecanismos homeostáticos y los perfiles toxicocinéticos de los trabajadores (Hoyos, 2023; Zwetsloot & Leka, 2021; Cooper, 2022). Estos conceptos son especialmente aplicables a los entornos portuarios, sobre todo si estos se ubican en territorios

costeros. La explicación según la literatura científica está inmersa de manera fundamental en el microclima, con comprobados estudios que evidencian la influencia determinante que el medio ambiente ejerce sobre el riesgo higiénico. Queda claro que, en zonas tropicales, se incrementa la severidad del riesgo ocupacional del sector portuario. Como indicó Martínez-Flores (2023) en el estado de antecedentes, el estrés térmico por calor metabólico y ambiental induce una fatiga neuromuscular acelerada que deteriora la capacidad de respuesta motora y cognitiva de los operarios industriales en zonas tropicales.

La presión que ejerce el calor en la salud de los trabajadores barranquilleros, en especial los que laboran a cielo abierto, está documentado en el Plan Ambiental del Distrito de Barranquilla (2025) que da cuenta de las altas temperaturas de la ciudad y los elevados niveles de humedad relativa que demandan mayores destrezas adaptativas a nivel fisiológico. (Alcaldía de Barranquilla, 2025). Gelati et al. (2017)

Para disipar el calor excedente, el organismo activa una vasodilatación periférica masiva acompañada de un incremento en la frecuencia cardíaca y en la tasa de ventilación pulmonar por minuto. Gelati et al. (2017) identifican que este estado de hiperventilación y alteración dérmica actúa como un potenciador de la absorción de contaminantes químicos. Con base en los anteriores planteamientos, en un escenario de coexposición, el material particulado procedente de graneles sólidos o los vapores orgánicos desprendidos en la manipulación de mercancías peligrosas penetran con mayor velocidad en el torrente sanguíneo de un operario de muelle hiperventilado. La tasa de dosis interna del xenobiótico se eleva en comparación con las estimaciones de los laboratorios tradicionales que realizan mediciones en condiciones controladas.

Asimismo, la interacción entre el ruido continuo generado por la maquinaria pesada de patio y la presencia de disolventes químicos inhalados genera efectos ototóxicos sinérgicos, acelerando el desarrollo de hipoacusia neurosensorial y elevando la carga de fatiga crónica del personal (Berthel-Berthel & Padilla-Sarmiento, 2017; Meriño et al., 2019; Valdés et al., 2020).

Enfoque de la estructura de alto nivel para la integración HSEQ

La unificación operativa de las directrices de prevención encuentra su viabilidad técnica en el enfoque de la Estructura de Alto Nivel (HLS) adoptada por las normas internacionales de gestión. Según García-Fenoll (2022) los sistemas de HSEQ integrados para la gestión de la seguridad y salud laboral en empresas logísticas, debe orientarse en la administración por procesos, considerando los riesgos inminentes dentro de ellos, a los que denomina pensamiento basado en riesgos. Para tal efecto propone la equivalencia estructural entre las normas ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001, indicando que estas permiten que la Cláusula 8 de control operacional funcione como un nodo de confluencia metodológica (International Organization for Standardization [ISO] 2015;2018).

Retomando a Nunes & Simões-Marques (2022), sus investigaciones advierten que una de las causas de reducción de la eficacia en los patios de los contenedores también se ve afectada por factores administrativos, conocida como disociación documental de los sistemas de gestión. Sobre el particular los autores subrayan que normalmente los inspectores actúan de manera aislada, añadiendo mayor tensión y confusión entre el personal operativo al recibir instrucciones contradictorias. Esta sería una de las grandes soluciones que aporta contar con directrices estandarizadas, dado que adicional a su carácter integrativo, optimiza la operación logística al reducir la carga mental. Un ejemplo concreto se aprecia al intentar articular la norma ISO 9001 con la ISO 14001 y la ISO 45001. Esta triada interrelaciona los protocolos de mitigación de

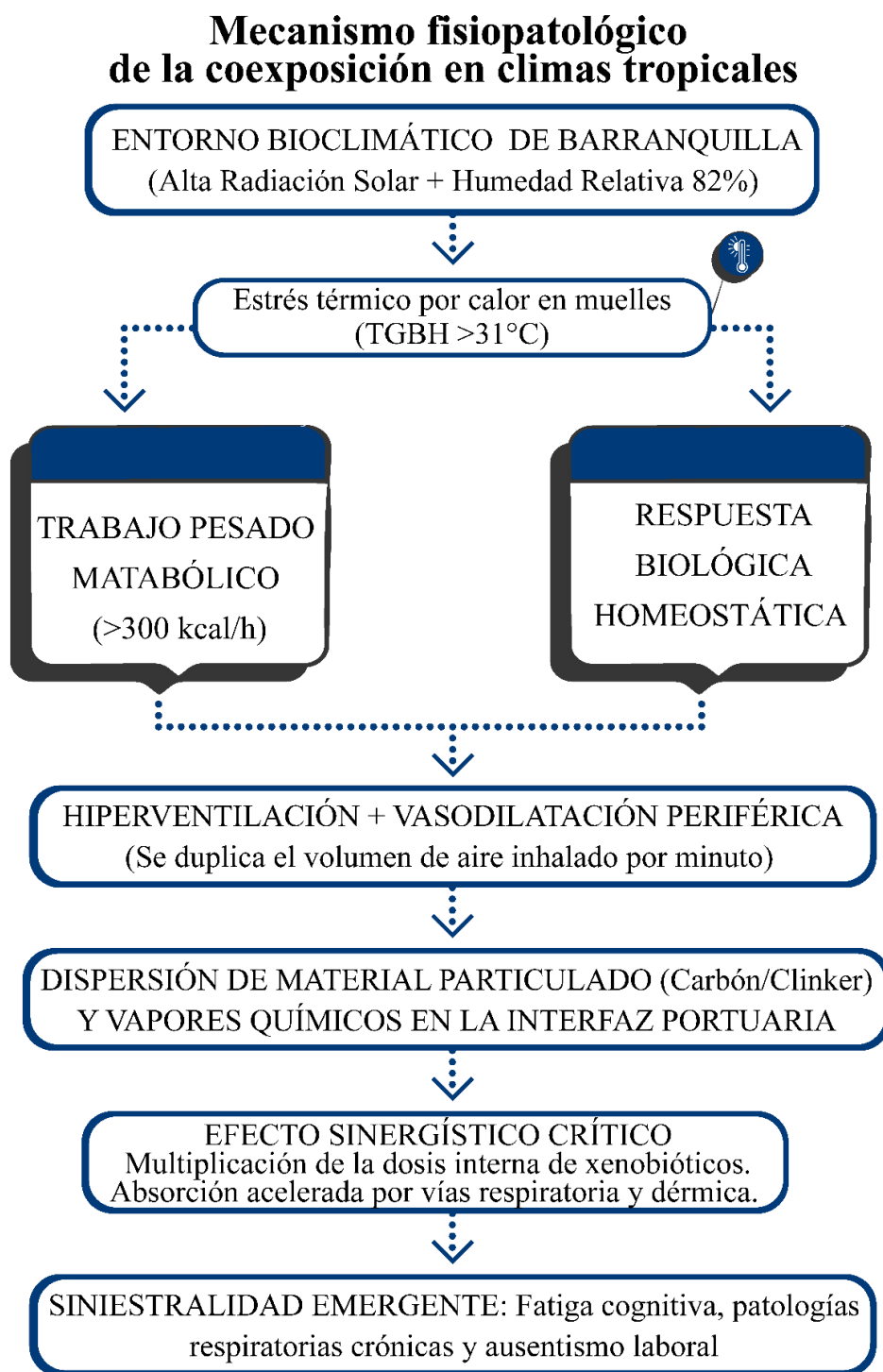
emisiones y material particulado, con la salvaguarda de la integridad biológica del estibador demostrando que la seguridad y salud en el trabajo es una variable codependiente de la excelencia logística y de la sostenibilidad empresarial en el comercio marítimo global (ISO, 2015a; ISO, 2015b; ISO, 2018).

Las anteriores ideas encierran la necesidad de analizar y comprender la interacción biológica de los factores de riesgo físicos y químicos, a los que está expuesto un operario portuario, desde una mirada holística que integre todas las variables presentes. Para ello, la Figura No 1 que se presenta a continuación, detalla el modelo fisiológico de coexposición higiénica (estrés térmico + riesgo químico). Su organización gráfica permite visualizar la vulnerabilidad de los operarios, como se duplican los peligros ante condiciones ambientales extremas en combinación con las respuestas homeostáticas y el mecanismo toxicocinético. El esfuerzo físico sumando al microclima, transforma concentraciones ambientales nominalmente aceptables en dosis biológicas nocivas. Se estructura en los siguientes eslabones críticos:

- **Entorno bioclimático:** detonante ambiental por la alta radiación solar directa y humedad relativa promedio, genera condiciones extremas.
- **Trabajo metabólico pesado:** otra carga contaminante es la exigencia operacional con gasto energético elevado que lo cataloga como trabajo pesado metabólico.
- **Respuesta fisiológica alterada:** Al converger calor ambiental y esfuerzo físico el organismo genera una respuesta biológica homeostática, manifestada con alteraciones clínicas inmediatas.
- **Fenómeno de absorción sinérgica crítica:** punto ciego higiénico. Los operadores tienen una doble absorción de contaminantes por vías respiratorias, ocasionado por la hiperventilación y contacto simultáneo con material particulado y vapores químicos.

Figura 1

Modelo fisiopatológico de coexposición higiénica (estrés térmico + riesgo químico).



Fuente: elaboración propia

Conceptos fundamentales de la integración higiénica y toxicología ocupacional

Para una mejor comprensión del mecanismo de coexposición sinérgica presente en la interfaz portuaria, a continuación, se definen los cuatro principales conceptos en los que se enmarcan las variables de riesgo físico y químico, bajo los que se explica la relación directa que tienen estos detonantes en la respuesta biológica del trabajador expuesto:

Higiene industrial

La American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH, 2026) la define como el área del conocimiento y praxis dedicados a la identificación, evaluación, control y gestión de factores ambientales presentes en los ambientes de trabajo, que pueden generar tensiones, patologías o alteraciones en la salud de los trabajadores. Para el caso de la interfaz portuaria la higiene industrial se refiere en lo específico, al cuidado, medición y análisis de la variabilidad del entorno, el impacto que tiene en el organismo de los operarios, ante la exposición a distintos agentes que emanan de dicho ambiente.

Evaluación de exposición

Según la ACGIH (2026) es el proceso técnico-científico que consiste en medir la magnitud de frecuencia y duración del contacto con algún peligro higiénico por parte de los trabajadores, durante su labor. Estos pueden ser de origen físico y químico (ACGIH, 2026). Su propósito es determinar la dosis interna real recibida ya sea física o química, al correlacionar el nivel de concentración del contaminante disperso, con la tasa metabólica, dado que esta determina la demanda respiratoria del trabajador, frente a un muestreo ambiental clásico.

Límites de exposición permisibles (TLVs)

La ACGIH (2026) las define como umbrales bajo los que los trabajadores pueden estar expuestos de forma repetitiva, día a día sin afectar su salud o tener efectos adversos, frente a agentes químicos y físicos. Para ellos el indicador TLV establece las concentraciones de referencia y límites críticos, bajo los cuales se deben reajustar en entornos como el sector portuario donde convergen sinérgicamente esfuerzo físico y estrés térmico extremo.

Marco legal y normativo

El ordenamiento jurídico de este trabajo integra una cadena normativa multinivel que un su nivel superior o fundante, integra convenios internacionales, políticas globales y directrices de organismos multilaterales, que coinciden con el bloque de constitucionalidad colombiano, del que derivan leyes de la República, decretos reglamentarios, resoluciones, guías técnicas, entre otras metodologías, lineamientos, directrices y estándares que impone el régimen legal de seguridad y salud en el trabajo, en particular la regulación de las actividades portuarias, la higiene industrial y la gestión química. Dada la delimitación de la monografía, dentro del contexto de la interfaz muelle-puerto y en concordancia con sus fines de proponer directrices metodológicas de estandarización de la evaluación y control de riesgos físicos y químicos en dichos espacios. Bajo este marco, se busca ampliar los alcances regulatorios HSEQ, para que, al momento de su implementación, no solo tenga validez técnica sino jurídica.

Convenios multilaterales y recomendaciones prácticas de la OIT

La Organización Internacional del Trabajo (OIT) es considerada autoridad global por excelencia en la investigación, diseño y formulación de directrices para la gestión y evaluación de la salud en las plataformas portuarias. En tal sentido, emitió el *Repertorio de*

recomendaciones prácticas sobre seguridad y salud en los puertos, complementado con el Convenio 152 (OIT, 2019), donde expresa los pilares y directrices específicas para mitigar la alta siniestralidad presente en los puertos. Mediante pautas para la manipulación segura de mercancías, trincaje de contenedores, operación de maquinaria pesada de patio, como grúas pórtico, *reach stackers* y montacargas, la OIT (2019) fija un compendio de recomendaciones orientadas a salvaguardar la seguridad e higiene en los trabajos portuarios. Este convenio consagra la obligación de los Estados miembros de garantizar que toda manipulación de carga cuente con un sistema integral de control de riesgos que proteja la salud del operario frente a factores emergentes como la fatiga por turnos rotativos y las condiciones térmicas extremas, sirviendo como base epistemológica y jurídica para la unificación de los procesos de SST en terminales portuarias.

Marco internacional de la higiene industrial y la gestión química (OIT e IMDG)

Escalando las anteriores directrices generales internacionales de la OIT sobre exposición ocupacional, de manera específica en lo referente al riesgo químico y manejo de agentes nocivos sirven como base normativa del tema de estudio:

Convenio 170 sobre productos químicos (OIT, 1990) y la recomendación 177 (OIT, 1990)

Este repertorio de acuerdos, lineamientos y recomendaciones para la gestión de riesgos químicos, impone no solo la obligación de evaluar los peligros de manipulación de sustancias nocivas, sino las amenazas derivadas y para ello asigna el uso de datos estandarizados mediante fichas de seguridad diseñadas para tal efecto.

Código marítimo internacional de mercancías peligrosas (IMDG) de la Organización Marítima Internacional (OMI, 2024).

Este compendio normativo clasifica y unifica los protocolos de la interfaz portuaria, incluyendo disposiciones para cada una de las fases, incluyendo embalaje y almacenamiento de sustancias químicas en las terminales marítimas, instruyendo sobre su adecuado manejo minimizando el riesgo de reacciones sinérgicas accidentales.

Metodología de la Asociación Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, 2026)

Este estándar técnico es considerado uno de los más importantes defensores de los valores límites permisibles (TLVs) en cuanto a concertaciones de agentes químicos y físicos. Su modelo indica los niveles óptimos para garantizar la salud ocupacional, pese a la exposición repetida, día a día de agentes químicos y físicos evitando eventos adversos.

Estándares internacionales de certificación: normas ISO 9001, 14001 y 45001

La base técnica de la integración metodológica de la matriz descansa sobre la estructura de alto nivel (HLS, por sus siglas en inglés) desarrollada por la International Organization for Standardization (ISO).

- **ISO 45001:2018. Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo:** proporciona el marco conceptual para la prevención de lesiones y el deterioro de la salud de los trabajadores (ISO, 2018). Su enfoque basado en el riesgo obliga a la organización a estructurar controles jerárquicos sobre los peligros mecánicos, locativos y físicos (como estrés térmico por calor, sobrecarga mental y la fatiga neuromuscular).

- **ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental:** establece los requisitos para identificar, evaluar y mitigar los aspectos e impactos ambientales derivados de la operación (ISO, 2015b). En el entorno portuario, regula de forma estricta el control operacional sobre la dispersión de material particulado durante la manipulación de graneles, la prevención de vertimientos accidentales de hidrocarburos y la gestión de residuos peligrosos (RESPEL).

La articulación analítica de este bloque normativo internacional demuestra que las normas convergen en sus requisitos de control operacional (Cláusula 8), lo que justifica metodológicamente el codiseño de un único instrumento paramétrico HSEQ.

Régimen legal colombiano de seguridad y salud en el trabajo

En Colombia, las actividades logísticas portuarias están catalogadas bajo la clasificación de riesgo máximo (Clase V), debido a la alta criticidad de las energías peligrosas, el trabajo en alturas, el izaje de cargas masivas y el tráfico de vehículos pesados en patios. Por consiguiente, el marco legal nacional impone obligaciones perentorias e irrenunciables. En cuanto a la exposición ocupacional a riesgos químicos o contaminantes en el aire, se encuentran:

- **Resolución 2400 de 1949.** En su **Artículo 154.** Regula la aplicación de valores límites permitidos, en concordancia con lo impuesto por la ACGIH (Ministerio del Trabajo y Seguridad Social, 1949). En el se indica que los monitoreos higiénicos adelantados por las terminales portuarias deben contrastar los indicadores de presencia vapores ambientales y material particulado, contra los umbrales indicados por la ACGIH vigentes.

Documentos de uso complementario:

- **Guía Técnica Colombiana GTC 45 para la identificación de peligros** (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2012).

- Estrategia de Evaluación de la Exposición Ocupacional de la AIHA (Asociación de Higiene Industrial de Estados Unidos).
- **Decreto 1072 de 2015. Decreto único reglamentario del sector trabajo:** en su libro 2, parte 2, título 4, capítulo 6, instituye la implementación obligatoria del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST). El contenido de esta norma exige a las empresas planes preventivos de riesgos, que además de identificar, valorar y evaluar peligros, desarrollan un conjunto de acciones de intervención para mitigarlos. En tal sentido los empresarios asumen la responsabilidad legal de garantizar la efectividad de las medidas preventivas en cada uno de los puestos de trabajo. (Ministerio del Trabajo, 2015).
- **Resolución 0312 de 2019. Estándares mínimos del SG-SST:** Establece los requisitos mínimos de obligatorio cumplimiento para empresas con más de cincuenta trabajadores clasificadas en riesgo IV y V. Para el sector portuario de Barranquilla, esta resolución demanda la ejecución de auditorías periódicas, el seguimiento estricto a los indicadores de ausentismo, frecuencia y severidad de la accidentabilidad, y la verificación de planes de mejora continua (Ministerio del Trabajo, 2019).
- **Ley 1562 de 2012. Sistema general de riesgos laborales:** modifica el sistema de riesgos en el país, ampliando las definiciones de accidente de trabajo y enfermedad laboral. Esta ley ejerce una fuerte presión legal sobre las firmas consultoras y las terminales operadoras, puesto que penaliza la omisión en el control de factores de riesgo ambientales que desencadenen patologías crónicas o incidentes fatales.

Normativa nacional e instrumentos distritales de control ambiental

El componente ecológico de la matriz integrada HSEQ se encuentra regulado por la legislación ambiental colombiana, la cual busca proteger los cuerpos de agua continentales, las zonas costeras y la pureza del aire en los centros urbanos industriales:

- **Ley 9 de 1979. Código sanitario nacional:** dicta las disposiciones generales para la protección del medio ambiente y la salud humana. En su articulado, regula las condiciones de saneamiento básico empresarial, la gestión de residuos sólidos e industriales y las descargas de contaminantes a la atmósfera, sirviendo como marco histórico y conceptual para la ingeniería ambiental en el territorio nacional (Congreso de Colombia, 1979).
- **Decreto 1076 de 2015. Decreto único reglamentario del sector ambiente y desarrollo sostenible:** centraliza la regulación sobre licencias ambientales, permisos de vertimientos, concesiones de agua y regímenes de emisión atmosférica. Las empresas prestadoras de servicios logísticos portuarios en las márgenes del Río Magdalena deben alinear de forma estricta sus planes de contingencia con este decreto para evitar sanciones pecuniarias y cierres temporales de los patios de almacenamiento de carbón, *clinker* o químicos.
- **Plan de gestión ambiental regional y distrital de Barranquilla (Alcaldía Distrital de Barranquilla, 2025):** Como instrumento de política pública territorial, este plan prioriza el control de la contaminación por material particulado y la preservación ecológica de la cuenca baja del Río Magdalena. Exige a las terminales y zonas francas ubicadas en la interfaz industrial de Barranquilla la implementación de barreras cortavientos, sistemas de humectación de graneles y protocolos estrictos de respuesta inmediata ante incidentes ambientales que comprometan los ecosistemas lóticos locales.

- La tabla No1 que se presenta a continuación muestra la articulación normativa del estudio con los requerimientos de control operacional vigentes a nivel nacional e internacional para las terminales portuarias.

Tabla 2

Normativa Aplicada al Modelo HSEQ en el Régimen Colombiano e Internacional

Referencia normativa	Tipo de alcance	Variable crítica regulada	Aplicación operacional en el puerto de Barranquilla
OIT (2019) Repertorio de Recomendaciones	Internacional Multilateral	Seguridad en operaciones de muelle, trincaje y manejo de maquinaria pesada.	Base técnica para estandarizar los turnos de trabajo y los descansos requeridos por fatiga en patios.
Código IMDG (IMO, 2022)	Internacional Sectorial	Clasificación, etiquetado y segregación de sustancias químicas peligrosas.	Protocolos de almacenamiento seguro en bodegas y respuesta inmediata ante fugas de graneles y líquidos.
ISO 45001:2018	Estándar Internacional	Prevención de lesiones, control jerárquico de peligros higiénicos y locativos.	Definición de los requerimientos de auditoría y mejora continua del SG-SST de contratistas del muelle.
ISO 14001:2015	Estándar Internacional	Aspectos e impactos ambientales, control de emisiones y vertimientos accidentales.	Mitigación de la dispersión de material particulado de carbón mediante pantallas cortavientos y humectación.
Decreto 1072 de 2015 (MinTrabajo)	Nacional Obligatorio	Implementación sistémica del SG-SST, auditorías y responsabilidades de la alta gerencia.	Marco obligatorio de cumplimiento legal para todas las empresas de servicios logísticos del Distrito.
Resolución 0312 de 2019 (MinTrabajo)	Nacional Obligatorio	Estándares mínimos de seguridad para empresas clasificadas en Riesgo V.	Reporte e intervención obligatoria de indicadores de ausentismo, frecuencia y severidad de accidentes.
Ley 9 de 1979 (Congreso de Colombia)	Ley de la República	Saneamiento básico, emisiones a la atmósfera y protección de la salud humana.	Monitoreo perimetral de la calidad del aire dentro de las zonas de interfaz portuaria e industrial de Barranquilla.
Alcaldía de Barranquilla (2025)	Distrital Territorial	Lineamientos ambientales para zonas de interfaz portuaria, protección de la cuenca baja.	Diseño de planes de contingencia conjuntos entre terminales para mitigar impactos en el Río Magdalena.

Nota. Elaboración propia (2026), con base fuentes citadas

3. DISCUSIÓN

El análisis sistemático del corpus documental y del marco normativo considerado en esta monografía, permitió identificar una brecha entre los lineamientos establecidos para los sistemas de gestión HSEQ y las condiciones reales en las que se desarrolla la higiene industrial en el Puerto de Barranquilla. La comparación entre la evidencia reportada por la literatura especializada y las disposiciones contenidas en el Decreto 1072 de 2015 y la Resolución 0312 de 2019 evidencia la existencia de debilidades metodológicas en la evaluación de los riesgos ocupacionales, así como diversos factores que contribuyen a explicar el comportamiento de la accidentalidad y las afectaciones a la salud de los trabajadores del sector portuario.

Uno de los aspectos más relevantes corresponde a las limitaciones presentes en los procesos de identificación y valoración del riesgo higiénico. En numerosas empresas operadoras portuarias las matrices de identificación de peligros continúan sustentándose en metodologías tradicionales que analizan de manera independiente los agentes físicos y los contaminantes químicos, sin considerar la interacción que existe entre ambos durante el desarrollo de las actividades operativas. Esta situación resulta especialmente crítica si se tiene en cuenta que diversos estudios realizados en la región Caribe reportan que las labores en los muelles de Barranquilla se ejecutan de forma habitual bajo índices de temperatura de globo y bulbo húmedo (TGBH) entre 31,5 y 34,2 °C, valores que superan los límites establecidos por la normativa colombiana para trabajos de elevada carga física.

Cuando estos registros ambientales se contrastan con las mediciones relacionadas con la dispersión de material particulado durante la manipulación de graneles sólidos, se observa una asociación entre los periodos de mayor carga térmica y el incremento de los casos de ausentismo por enfermedades respiratorias agudas. Sin embargo, los monitoreos efectuados por algunas

empresas contratistas reportan concentraciones de polvo respirable inferiores a los valores límite permisibles (TLV), lo que, analizado de manera aislada, podría conducir a interpretaciones equivocadas. Cabe resaltar, que en las mediciones no es tenido en cuenta que los operadores hiperventilan como respuesta fisiológica al estrés térmico. Por tanto, la exposición efectiva a contaminantes se duplica en proporción al aire inhalado.

Otro importante hallazgo se relaciona con la heterogeneidad que caracteriza el tejido empresarial portuario. La cadena de valor esta integrada por grandes empresas operadoras de los terminales y macro procesos logísticos, que en su operativa contratan pequeñas y medianas empresas de servicios logísticos. De tal modo que los sistemas HSEQ son implementados con alto nivel de cumplimiento y posteriores certificaciones en las terminales principales. Mientras que las contratistas encargadas de actividades como el trincaje de carga, lavado de contenedores, mantenimiento de patios, entre otras, registran porcentajes considerablemente inferiores. Es decir, no hay una aplicación uniforme de los procedimientos de higiene industrial y dificulta la consolidación de sistemas de vigilancia epidemiológica capaces de identificar oportunamente tendencias y factores de riesgo comunes en toda la cadena logística.

Es precisamente esta brecha la que da origen a la pregunta que orientó esta investigación. Al retomar la pregunta problema ¿Qué directrices metodológicas HSEQ permiten estandarizar la evaluación y control de los riesgos físicos y químicos en el puerto de Barranquilla? los marcos normativos, sumados a la literatura científica analizada coinciden en que la evaluación de la seguridad y salud en el sector no puede realizarse desde mediciones independientes para variables como el ruido, estrés térmico, contaminantes, entre otras presentes. Por el contrario, los resultados muestran la necesidad de adoptar enfoques integrales que reconozcan la interacción

existente entre los diferentes agentes de riesgo y sus efectos combinados sobre la salud de los trabajadores.

Estas ideas se fortalecen al contrastar corrientes de pensamiento, enfoques metodológicos, alcances de las regulaciones y la capacidad de las herramientas de medición. Modelos sistémicos como el propuesto por Badiru y Osisanya (2020) argumentan que, ante la interacción multicomponente de riesgos, dentro del entorno de los muelles portuarios, resultan insuficientes mediciones aisladas y reduccionistas. Afirmación respaldada con datos que evidencian que los eventos adversos registrados en los muelles, responden a la convergencia de múltiples componentes organizacionales, ambientales y operativos, más que a situaciones independientes.

Otra particularidad que tiene el espacio estudiado como agente multiplicador del riesgo físico y químico se relaciona con las condiciones climáticas propias de Barranquilla, su calor extremo y humedad relativa incrementa la carga fisiológica de los trabajadores, siendo frecuente patologías relacionadas con vasodilatación periférica y el aumento de la frecuencia respiratoria, mecanismos que, según Gelati et al. (2017), pueden facilitar la absorción de determinados agentes químicos por vía respiratoria y cutánea. Estos hallazgos se complementan con los resultados sobre las razones de ausentismo laboral reportado en la ciudad en el estudio de Vergara-Gómez y Mendoza-Mendoza (2023), donde casi la mitad (42%) de las enfermedades laborales se enmarcan en patologías respiratorias crónicas y problemas cardiovasculares. Esto puede interpretarse como el resultado de la interacción simultánea entre el estrés térmico, las condiciones climáticas y la exposición a contaminantes químicos, más que como una consecuencia exclusiva del esfuerzo físico asociado a las labores portuarias.

Los anteriores resultados cuestionan sobre si los fundamentos teóricos y metodológicos de higiene industrial son aplicables sin discriminar el entorno. En tal sentido es pertinente revisar

las herramientas clásicas de evaluación de riesgos ocupacionales, desde su estructura de indicadores individuales para los entornos tropicales. Por ejemplo, considerando si los valores límites permisibles establecidos para escenarios industriales convencionales, tienen la capacidad de reflejar adecuadamente las condiciones de exposición presentes en operaciones portuarias desarrolladas bajo altas temperaturas y elevados niveles de humedad relativa.

Retomando a Gelati et al. (2017), Badiru y Osisanya (2020); Vergara-Gómez y Mendoza; Mendoza (2023) coinciden en la necesidad de incorporar variables relacionadas con la carga metabólica, el estrés térmico y condiciones ambientales a la metodología HSEQ y estandarizar la evaluación y control de los riesgos físicos y químicos. Queda demostrado que, bajo este nuevo modelo de evaluación, es posible una valoración más ajustada a las características operativas de la región Caribe. Este enfoque resulta coherente con la estructura de alto nivel promovida por las normas ISO 45001 e ISO 14001, lo que fortalece su aplicación en contextos con condiciones climáticas particulares como puede apreciarse en la Tabla No 3.

Otro de los grandes desafíos planteados por este trabajo, se relaciona con la desarticulación al interior de la cadena de empresas que componen el grupo portuario. Los procedimientos y nivel de cumplimiento de la normativa de higiene industrial, varían en, metodología, prácticas y estrategias, lo que constituye uno de los principales obstáculos para la eficacia de los sistemas de gestión HSEQ. La adopción de directrices metodológicas comunes para los procesos de muestreo, calibración de equipos, evaluación de riesgos y control operacional permitiría homogenizar los procedimientos aplicados en las diferentes organizaciones que intervienen en toda la cadena de valor de la actividad portuaria. De esta manera sería posible reducir la duplicidad de actividades administrativas señalada por Nunes y Simões-Marques (2022), facilitar el cumplimiento de las disposiciones establecidas en el Decreto 1072 de 2015 y optimizar la

utilización de los recursos destinados a la prevención de riesgos laborales. Asimismo, una mayor estandarización de los procesos contribuiría a disminuir los errores operativos asociados a la fatiga cognitiva, fenómeno documentado por Anselmo y Silva (2024).

Para cerrar las discusiones y análisis a continuación se presenta cada una de las subpreguntas de investigación formuladas para guiar el estudio, identificando las tendencias teóricas y directrices globales, bajo las que se respaldan las directrices y recomendaciones que propone este trabajo

Tendencias teóricas y marcos normativos globales

Contextualizado el análisis en el horizonte de tiempo delimitado por esta investigación, la literatura indexada entre los años 2020 a 2026 muestra un claro cambio en el modelo clásico de higiene industrial, hacia un paradigma integrativo de sistemas complejos que encarna la estructura de alto nivel (ISO). En tal sentido, la tendencia global enmarcada en la norma ISO 7243 y respaldada por la OIT, impone una transición puntal en el plano del estrés térmico, demandando a los higienistas laborales a la medición biométrica continua y dinámica con base en el índice de TGBH. (Ver Tabla 3).

Del mismo modo, el Código Marítimo Internacional de Mercancías Peligrosas (IMDG) estandariza la gestión operativa de mercancías peligrosas bajo un Sistema Globalmente Armonizado (SGA). Tendencias consolidadas en el contexto colombiano bajo el Decreto 1072 de 2015 y la Resolución 0312 de 2019. No obstante, la literatura crítica demuestra el vacío normativo sobre la coexposición obligatoria y la necesidad de fiscalización de toda la cadena de valor portuaria, dado que muchos contratistas operan desarticulados de dichas directrices de higiene ocupacional (ver la Figura No 1).

Interacción del microclima de Barranquilla y variables operativas

Los datos bibliográficos y estudios sectoriales confirman que la triada indivisible bajo la que laboran los trabajadores portuarios de Barranquilla; clima-calor-químico es determinante de la alta tasa de siniestralidad y morbilidad de operarios del muelle. Como se puede ver en la Figura No 3, factores como los picos de estrés térmico y humedad relativa, anulan los mecanismos de termorregulación y ante tareas de alta demanda metabólica, la respuesta homeostática es la vasodilatación periférica e hiperventilación severa, que hace inhalar el doble de aire, que en un ambiente compuesto de material articulado y vapores detona patologías respiratorias y neuromusculares crónicas, causantes casi la mitad (42%) del ausentismo laboral como se puede validar en la Tabla No 2 (Gelati et al., 2017; Sánchez-Herrera, 2024; Vergara-Gómez & Mendoza-Mendoza, 2023).

Estructura de la directriz metodológica estandarizada HSEQ

Como se ha analizado y argumentado a la luz de la literatura a lo largo de este trabajo monográfico, los procesos de evaluación e intervención higiénica en el sector portuario demandan la implementación de una metodología estandarizada, con lineamientos claros, protocolos coordinados bajo rigurosos criterios de ingeniería. En tal sentido, estos deben partir del núcleo de caracterización bioclimática automatizado, que garantice el monitoreo en tiempo real, de manera continua y en concordancia con un módulo de perfilación taxonómica de puestos de trabajo coexpuestos con base en su gasto calórico. La literatura sugiere el aislamiento y climatización de cabinas de maquinaria pesada y sistemas de ventilación de alta eficiencia de filtración (HEPA) como estrategia para mitigar la triada de riesgo higiénico presente. Por otra parte, la visión contemporánea de protocolos administrativos debe ser disruptiva del tradicional enfoque hacia la productividad, considerando nuevas dinámicas como la institución de pausas

activas de recuperación, hidratación salina obligatoria y la vigilancia de alertas metabólicas. Cabe recordar la importancia de asegurar que la normativa y protocolos trasciendan a toda la cadena de valor, dado que la mayor problemática se presenta en las empresas contratistas operadoras portuarias, como se aprecia en la Figura No 3 (Gelati et al., 2017; Sánchez-Herrera, 2024; Vergara-Gómez & Mendoza-Mendoza, 2023).

Es necesario reconocer las limitaciones metodológicas de esta investigación. Al tratarse de una monografía basada exclusivamente en la revisión documental exhaustiva, los resultados constituyen inferencias analíticas de la literatura científica y el marco normativo vigente, por lo que carecen de validación experimental directa mediante trabajo de campo en los terminales específicos de Barranquilla. No obstante, esta limitación no invalida la propuesta. Al contrario, establece la línea de base teórica y metodológica indispensable para que futuros estudios de carácter cuantitativo implementen el protocolo diseñado y midan su impacto real sobre los indicadores de morbilidad del nodo portuario.

4. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES OPERACIONALES, AMBIENTALES Y DE EXPOSICIÓN EN EL MICROCLIMA PORTUARIO DE BARRANQUILLA

Las condiciones micro climáticas del Distrito de Barranquilla constituyen uno de los principales factores que influyen en la exposición ocupacional de los trabajadores portuarios. La combinación de altas temperaturas, elevada humedad relativa, radiación solar intensa y condiciones atmosféricas propias de una zona costera genera un ambiente que incrementa la carga térmica durante la ejecución de las actividades operativas (Alcaldía Distrital de Barranquilla, 2025). Estas características ambientales interactúan con las exigencias físicas del trabajo desarrollado en los puertos, aumentando la probabilidad de afectaciones a la salud y de ocurrencia de incidentes laborales, situación que coincide con lo planteado por Trbojevic (2022) acerca de la influencia de los factores ambientales sobre el desempeño de sistemas sociotécnicos complejos.

Entre las variables ambientales con mayor incidencia se encuentra la carga térmica, determinada por la temperatura del aire, la humedad relativa, la radiación solar y la velocidad del viento. Estudios desarrollados en la región Caribe evidencian que los índices de temperatura de globo y bulbo húmedo (TGBH) alcanzan sus valores más elevados entre las 11:00 y las 15:00 horas, precisamente durante uno de los periodos de mayor actividad operativa en los muelles (Vergara-Gómez y Mendoza-Mendoza, 2023). A este comportamiento contribuyen no solo las condiciones climáticas propias de la ciudad, sino también el calor reflejado por las superficies de concreto de los patios de contenedores y por las estructuras metálicas de las embarcaciones, las cuales incrementan la temperatura percibida por los trabajadores (Martínez-Flores, 2023).

Otro factor ambiental relevante corresponde al ruido generado por la operación continua de equipos portuarios. El funcionamiento permanente de las plantas de refrigeración de

contenedores, las grúas de patio y otra maquinaria pesada produce niveles de presión sonora que, en diversos escenarios operativos, superan los 85 dBA, umbral a partir del cual se incrementa el riesgo de afectaciones auditivas cuando la exposición es prolongada (Karimi y Mohammadfam, 2021). Además de sus efectos sobre la audición, este ambiente acústico puede influir negativamente en la comunicación entre los trabajadores y en la ejecución segura de las maniobras portuarias.

Las variables operacionales complementan este escenario al incorporar aspectos relacionados con la organización del trabajo y la demanda física de las tareas. Actividades como el trincaje de carga, la manipulación de graneles y el mantenimiento de equipos son consideradas labores de alta exigencia metabólica, con consumos energéticos superiores a las 300 kilocalorías por hora (OIT, 2019). A ello se suma la realización frecuente de jornadas extendidas y turnos rotativos para responder a las dinámicas propias de la operación portuaria y reducir los tiempos de permanencia de las embarcaciones. Estas condiciones pueden alterar los ciclos normales de descanso y recuperación de los trabajadores, favoreciendo la aparición de fatiga física y disminuyendo la capacidad del organismo para disipar el calor acumulado durante la jornada (Anselmo y Silva, 2024; Martínez-Flores, 2023).

Desde la perspectiva de la higiene industrial, uno de los aspectos de mayor interés corresponde a la interacción entre el estrés térmico y la exposición a agentes químicos presentes durante determinadas operaciones portuarias. En la manipulación de graneles secos, como carbón o *clínker*, las condiciones de viento favorecen la dispersión de material particulado respirable en las zonas de trabajo (Sánchez-Herrera, 2024). Al mismo tiempo, los trabajadores expuestos a elevadas temperaturas incrementan su frecuencia respiratoria como mecanismo fisiológico para favorecer la pérdida de calor corporal. De acuerdo con Gelati et al. (2017), esta

respuesta adaptativa aumenta el volumen de aire inhalado y, en consecuencia, la cantidad de partículas que ingresan al sistema respiratorio.

Esta interacción evidencia que la exposición a contaminantes químicos no depende únicamente de la concentración presente en el ambiente, sino también de las condiciones fisiológicas del trabajador y del contexto climático en el que desarrolla sus actividades. En consecuencia, evaluar por separado los riesgos físicos y químicos puede conducir a una subestimación del nivel real de exposición.

Esta limitación explica, en parte, por qué algunos modelos convencionales de evaluación presentan dificultades para anticipar los problemas respiratorios y cardiovasculares asociados al trabajo portuario en ambientes tropicales (Al-Rubaiee, 2021). En este sentido, resulta pertinente avanzar hacia metodologías de evaluación que integren simultáneamente las variables ambientales, operacionales y fisiológicas, permitiendo una valoración más precisa del riesgo ocupacional en el contexto portuario de Barranquilla.

Con el propósito de evaluar el escenario de coexposición, la Tabla 3 que se presenta a continuación, clasifica las variables operacionales, ambientales y de exposición determinantes en el microclima portuario de Barranquilla. La convergencia de factores de sobrecarga latente, sumadas a las variables climatológicas y operacionales, transforma los monitoreos higiénicos tradicionales, dadas las variables de exposición que manejan los puestos de trabajo portuarios, donde el riesgo no es una constante matemática aislada.

En contraposición los datos de la tabla confirman que el esfuerzo físico, bajo condiciones de estrés térmico altera la toxicocinética de los operarios, lo que justifica la necesidad de corregir y penalizar los límites permisibles tradicionales para adaptarlos a la realidad fisiológica de la operación local.

Tabla 3*Variables operacionales, ambientales y de exposición microclima portuario Barranquilla*

Categoría de Variable	Variable específica	Indicadores / Métricas	Puestos de trabajo críticos	Impacto en la salud y siniestralidad laboral
Variables Ambientales (Energías y factores del entorno bioclimático)	Estrés Térmico por Calor	- Índice TGBH (picos de 31.5 °C a 34.2 °C). - Humedad relativa (~82%).	- Estibadores de muelle. - Operarios de patio abierto. - Mecánicos de mantenimiento.	- Vasodilatación periférica masiva. - Golpe de calor y deshidratación severa. - Pérdida de atención y aumento de actos inseguros.
	Presión Sonora (Ruido)	Niveles de presión acústica continua e intermitente (>85 dBA).	- Operadores de grúas pórtico. - Operarios de patio (<i>reefers</i>). - Conductores de vehículos pesados.	- Hipoacusia neurosensorial. - Fatiga cognitiva acelerada. - Interferencia en la comunicación crítica de maniobras.
	Radiación Solar Directa	- Índice de radiación Ultravioleta (UV). - Efecto de albedo (superficies reflectantes).	- Personal de trincaje en cubierta. - Inspectores de seguridad y aforadores.	- Quemaduras dérmicas y dermatitis ocupacional. - Fatiga visual por deslumbramiento. - Estrés calórico exógeno acumulado.
Variables Operacionales (Demandas físicas y organización del trabajo)	Carga Metabólica (Esfuerzo)	Gasto energético estimado (>300 kcal/h; Trabajo pesado).	- Estibadores (manipulación manual de cargas). - Personal de trincaje y amarre.	- Fatiga neuromuscular crónica. - Transtornos musculoesqueléticos. - Elevación de la temperatura corporal interna.
	Organización del Tiempo	- Duración de la jornada (horas extras). - Frecuencia de turnos rotativos nocturnos.	- Operadores de maquinaria pesada. - Controladores de tráfico marítimo y de patio.	- Alteración de los ciclos circadianos. - Privación crónica del sueño. - Micro sueños e incremento de la tasa de siniestralidad.
	Presión Temporal	Tiempos estrictos de carga/descarga (<i>demurrage</i>).	Todo el personal operativo de la interfaz muelle-patio-buque.	- Sobrecarga mental y estrés. - Omisión voluntaria de protocolos de seguridad por rapidez.
Variables de Exposición Consolidada (Fenómenos de interacción y coexposición)	Coexposición Físico-Química Sinérgica	- Concentración de material particulado respirable (carbón, clinker). - Vapores orgánicos (mercancías peligrosas).	- Operarios de descarga de graneles secos. - Manejadores de sustancias químicas en muelles líquidos.	- Efecto Sinérgica: La hiperventilación por calor duplica el volumen de inhalación. - Incremento drástico de la dosis interna de xenobióticos. - Patologías respiratorias, dermatológicas y sistémicas.

5. COMPONENTES ESTRUCTURALES Y PROCEDIMENTALES DE LA DIRECTRIZ METODOLÓGICA ESTANDARIZADA HSEQ

Esta directriz metodológica se estructura bajo el enfoque de la estructura de alto nivel de las normas ISO, asegurando su compatibilidad con el marco legal colombiano definido en el Decreto 1072 de 2015 (Ministerio del Trabajo, 2015). El propósito de este componente es dotar a las empresas de servicios logísticos de un instrumento operativo común que elimine la dispersión procedimental de los subcontratistas (García-Fenoll, 2022).

Componentes estructurales del protocolo unificado

La estructura de la directriz metodológica se organiza en cuatro niveles jerárquicos de gestión, garantizando la trazabilidad del control higiénico desde el ingreso del trabajador al muelle hasta el cierre del ciclo operativo:

- **Núcleo de caracterización bioclimática¹:** obliga a la terminal portuaria principal a mantener una red de monitoreo ambiental continuo en patios y muelles (Alcaldía Distrital de Barranquilla, 2025). Su función es la centralización de la medición de índices TBGH, así como la velocidad del viento. Aporta alertas operativas en tiempo real cuando las variables ambientales registran umbrales de riesgo moderado hasta crítico.
- **Módulo de perfilación de puestos de trabajo coexpuestos²:** esta instancia estructural esta creada para sustituir los descriptores de cargo genéricos, reformulándolos en perfiles de riesgo higiénico compuesto. En tal sentido, centraliza el registro técnico unificado de labores

¹ Infraestructura perimetral de monitoreo continuo orientada a registrar las variaciones en tiempo real del Índice TBGH y la velocidad del viento, en estricto cumplimiento del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (Ministerio del Trabajo, 2015).

² Herramienta taxonómica de registro que clasifica los roles operativos según la tasa metabólica estimada y la presencia concomitante de contaminantes, siguiendo las directrices globales sobre el microclima laboral y las demandas biomecánicas de la carga de trabajo (Organización Internacional del Trabajo [OIT], 2019).

de los contratistas. Su función es clasificar cada puesto de trabajo según su carga metabólica bajo tres criterios; ligera, moderada y pesada. Del mismo modo establece el grado de exposición simultánea a material particulado o vapores, con base en los lineamientos de la OIT (2019).

- **Criterio de evaluación higiénica integrada**³: establece el algoritmo de corrección de los límites máximos permisibles (TLV). La directriz determina de forma obligatoria que todo muestreo de contaminantes químicos realizado bajo condiciones de estrés térmico superior a los 30 grados Celsius TGBH debe aplicar un factor de reducción matemática sobre el TLV del xenobiótico, penalizando la concentración aceptable en función de la tasa de hiperventilación estimada para la labor (Gelati et al., 2017).
- **Sistema de control jerárquico coordinado**⁴: define las acciones de intervención obligatorias para todas las empresas que operen en la interfaz portuaria, divididas en controles de ingeniería y controles administrativos, cuya ejecución debe ser auditada de forma centralizada por el operador portuario principal en cumplimiento de la Resolución 0312 de 2019 (Ministerio del Trabajo, 2019).

El componente procedimental define la secuencia lógica de acciones que deben ejecutar los profesionales de seguridad y salud en el trabajo para asegurar la estandarización del control del riesgo, como se muestra en la siguiente figura No 2

³ Algoritmo metodológico que parametriza y penaliza los límites máximos permisibles (TLV) de agentes químicos en función del factor de corrección por hiperventilación inducida por sobrecarga térmica (Gelati et al., 2017).

⁴ Mecanismo procedimental que unifica las barreras preventivas en la fuente, el medio y el trabajador para todas las firmas contratistas, asegurando la conformidad con los Estándares Mínimos de la Resolución 0312 de 2019 (Ministerio del Trabajo, 2019) y los principios de la estructura de alto nivel portuaria (Karimi & Mohammadfam, 2021).

Figura 2 Componentes estructurales del protocolo unificado



Fuente: elaboración propia

- **Fase 1. Monitoreo y calibración:** los higienistas de las empresas contratistas deben programar las sonometrías y los monitoreos térmicos de forma simultánea durante los periodos de máxima densidad logística (Karimi & Mohammadfam, 2021). Para garantizar la eficacia de los datos recopilados en el muelle, los equipos de medición deben ser calibrados y contar con la respectiva certificación vigente, bajo el estándar de la norma ISO 17025 y así poder asegurar la homogeneidad de la información.
- **Fase 2. Ajuste y valoración del riesgo compuesto:** Previa obtención de los datos de ruido TGBH y de los niveles de concentraciones químicas, esta información se consigna en la matriz paramétrica HSEQ. Con los resultados que la matriz arroja sobre los índices térmicos, automáticamente se activa el protocolo equivalente de manejo. Por ejemplo, si el indicador esta por encima de los niveles de acción, el protocolo reduce los tiempos de exposición para manejo de mercancías peligrosas sin que haya lugar a esperar a que los contaminantes químicos superen sus límites independientes (Sánchez Herrera, 2024)
- **Fase 3. Ejecución de controles de ingeniería:** esta fase prioriza la intervención en la fuente y en el medio. Por ejemplo, exige que todas las cabinas de las grúas pórtico y montacargas de gran calado, cuenten con la instalación de sistemas de climatización con filtrado de aire de alta eficiencia (HEPA). Esta acción preventiva no solo mitiga la carga térmica, sino que es un atenuante de inhalación de polvo. (Martínez-Flores, 2023).

Otra acción preventiva prescribe el uso de pantallas cortavientos mecánicas y sistemas de aspersión ultrasónica de agua para la supresión de polvo de graneles en las áreas de muelle abierto, sin generar humedades excesivas que alteren el índice térmico (ISO, 2015b).

- **Fase 4. Intervención administrativa y vigilancia médica:** esta última instancia propende por la organización científica del trabajo, limitando la dosis acumulada por el

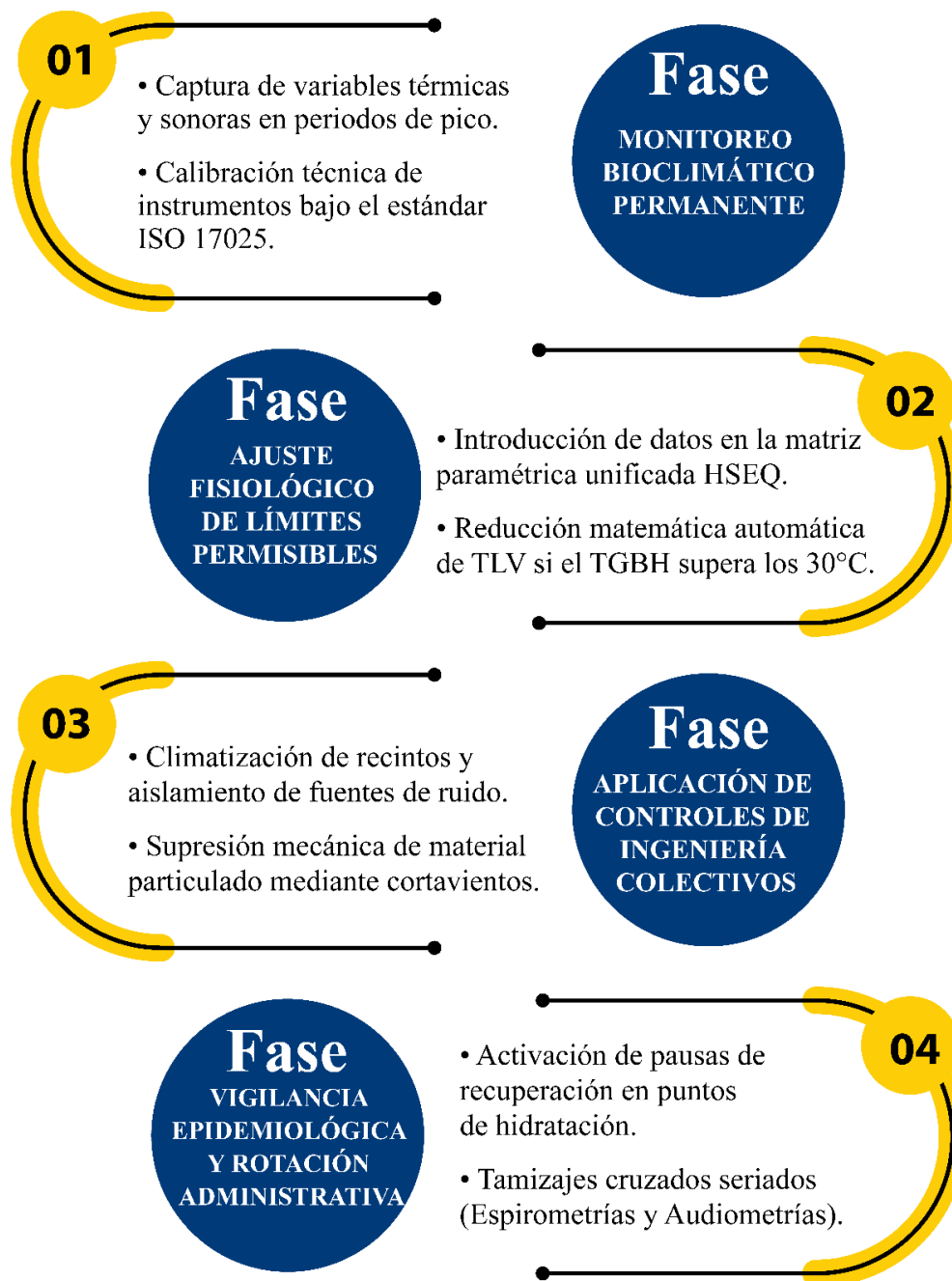
trabajador (Badiru & Osisanya, 2020). Para ello instaura un esquema obligatorio de pausas de recuperación y puntos de hidratación climatizados. Cabe resaltar que la frecuencia de estos descansos se incrementa de manera proporcional al aumento del índice TGBH reportado por el núcleo bioclimático (Vergara-Gómez & Mendoza-Mendoza, 2023). Un aspecto muy importante de este componente procedimental es que cierra el ciclo de prevención, unificando los exámenes médicos ocupacionales. Estos incluyen pruebas obligatorias de espirometría y audiometría de alta periodicidad para el personal expuesto a la triada de variables críticas, asegurando la detección temprana de alteraciones en la salud de los operarios de Barranquilla (Sampson & Ellis, 2021).

Con el propósito de presentar una delimitación clara de las dimensiones teóricas y cronológicas de la operatividad de la propuesta de estandarización de este trabajo monográfico, la siguiente figura No 3 sintetiza la arquitectura sistémica de la investigación, indicando a los profesionales de seguridad y salud en el trabajo en las terminales del Distrito de Barranquilla, las fases cronológicas y operativas para su implementación.

La primera instancia, desglosa los componentes estructurales, los módulos de gestión y algoritmos de corrección que debe adoptar el operador portuario principal.

La segunda dimensión del diagrama de flujo traza la secuencia lógica e irreversible de fases que guían la intervención higiénica en el medio y en el trabajador.

El resultado esperado es un protocolo reproducible para el tejido empresarial de contratistas del Distrito de Barranquilla, asegurando la conformidad legal y la preservación del talento humano.

Figura 3*Flujo procedimental e intervención higiénica*

Fuente: elaboración propia

6. MÉTODO

Esta investigación guarda un diseño metodológico de enfoque cualitativo y alcance descriptivo, para lo que se vale del método de investigación documental. Por tanto, al tratarse de un tipo de estudio de análisis teórico conceptual, su proceso prescinde de trabajo de campo con la participación de sujetos informantes. Por otra parte, asegura su rigor científico mediante la selección exhaustiva, examen crítico y sistematización de literatura científica de alto impacto y de la normativa legal vigente (Corporación Universitaria Reformada, 2026). Para alcanzar los objetivos propuestos y garantizar la replicabilidad del proceso investigativo, la metodología se organiza en las fases consecutivas detalladas a continuación.

Estrategia de búsqueda y fuentes de información

La recolección del corpus documental se realizó mediante consultas profundas en bases de datos indexadas internacionales y plataformas de alta reputación académica: Scopus, Web of Science, ScienceDirect y el buscador Google Académico. Para el marco normativo se consultaron los repositorios oficiales del Ministerio del Trabajo de Colombia, la Secretaría del Senado de la República y los portales de organismos multilaterales como la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Internacional de Normalización (ISO).

Los criterios de búsqueda se parametrizaron mediante la combinación de términos clave en español e inglés, empleando operadores booleanos (AND, OR) para refinar los resultados.

Las ecuaciones de búsqueda definitivas aplicadas fueron las siguientes:

- Ecuación 1 sistemas integrados y puertos: ("HSEQ" OR "Sistemas Integrados de Gestión" OR "ISO 45001") AND ("logística portuaria" OR "port terminals").

- Ecuación 2 riesgos y sobrecarga: ("riesgos críticos" OR "workload" OR "sobrecarga laboral") AND ("estrés térmico" OR "puertos").
- Ecuación 3 normativa colombiana: ("Decreto 1072" OR "Resolución 0312") AND "riesgo portuario".

Criterios de inclusión y exclusión

Para la conformación del corpus final de análisis se definieron criterios estrictos de selección documental. Como criterios de inclusión, solo se consideraron artículos publicados en revistas científicas indexadas, privilegiando en cuartiles Q1, Q2 o clasificados en Publindex, tesis doctorales de universidades reconocidas, libros de autoridad de editoriales científicas, y normas legales vigentes aplicables al territorio colombiano o al ámbito marítimo internacional. El rango temporal de la literatura científica se delimitó priorizando documentos desarrollados entre 2020 y 2026 para garantizar la vigencia informativa de las tendencias globales de sobrecarga y control ecológico.

Como criterios de exclusión se descartaron aquellos artículos de opinión, blogs comerciales, documentos de trabajo sin revisión por pares, normatividad derogada y estudios que no relacionaran de forma directa con las unidades de análisis, previamente establecidas como palabras claves; higiene industrial, factores de riesgo físico, riesgo químico, operaciones portuarias, estandarización aplicada a la interfaz logística portuaria.

Procedimiento de recolección y análisis de datos

El procesamiento de la información se ejecutó de manera sistemática en tres etapas consecutivas, vinculadas de forma directa con cada uno de los objetivos específicos:

- Fase de diagnóstico y extracción (objetivo específico 1): se revisaron y ficharon los documentos seleccionados para identificar las tipologías de riesgos críticos operacionales e higiénico-ambientales reportados por la ciencia, así como las obligaciones del marco legal colombiano (Congreso de Colombia, 2012; Ministerio del Trabajo, 2015, 2019).
- Fase de articulación y correlación (objetivo específico 2): utilizando los lineamientos de la estructura de alto nivel de las normas de estandarización (International Organization for Standardization [ISO], 2015a, 2015b, 2018), se realizó un análisis comparativo-conceptual para identificar los puntos de convergencia donde el control operacional de la seguridad y el medio ambiente interfiere en los macroprocesos de eficiencia logística portuaria (Nunes & Simões-Marques, 2022).
- Fase de síntesis e ingeniería aplicada (objetivo específico 3): se recurrió al análisis de contenido para integrar los hallazgos obtenidos durante la revisión documental y orientar el diseño de la matriz HSEQ propuesta. La información cualitativa recopilada se organizó en una matriz de análisis de literatura que permitió identificar y sistematizar los criterios de control más relevantes, así como establecer la estructura metodológica del instrumento. Este proceso buscó garantizar que la matriz resultante respondiera a las necesidades del contexto portuario de Barranquilla y pudiera ser utilizada como una herramienta práctica para apoyar la gestión de los riesgos en las empresas del sector (García-Fenoll, 2022; Sánchez-Herrera, 2024).

La tabla No 3 que se presenta a continuación operativiza el núcleo metodológico, articulando las demandas teóricas que requeridas para fundamentar los productos analíticos del manuscrito. Mediante su organización gráfica se aprecia como cada objetivo específico asegura su concreción en productos tangibles.

Tabla 4 *Operativización, correspondencia teórica y entregables de la monografía*

Objetivo específico	Soporte temático (ejes del marco)	Estrategia de operacionalización (procedimiento)	Salida técnica / entregable tangible
Analizar la literatura científica indexada y el marco normativo vigente relativo a la gestión de riesgos físicos, estrés térmico y manipulación de sustancias químicas en terminales portuarias.	• Modelos HSEQ internacionales (ISO 45001, ISO 14001, ISO 9001). • Repertorio de recomendaciones de la OIT sobre seguridad en puertos. • Código IMDG (Mercancías Peligrosas). • Legislación colombiana (Ley 9 de 1979, Decreto 1072 de 2015, Resolución 2400 de 1979, Resolución 0312 de 2019).	• Rastros bibliográficos en bases de datos indexadas (Scopus, PubMed, WoS, SciELO). • Clasificación jerárquica de la normativa mediante matrices de correspondencia legal. • Análisis de contenido crítico para identificar vacíos de estandarización en la literatura.	Marcos de Referencia Antecedentes (Estado del arte nacional e internacional). Marco Teórico. Marco Legal unificado.
Identificar las variables operacionales, ambientales y de exposición que inciden en la siniestralidad laboral dentro del microclima portuario de Barranquilla.	• Factores del microclima tropical costero e índices TGBH. • Fisiopatología del estrés térmico y fatiga neuromuscular en zonas costeras. • Dinámicas de coexposición. • Tipologías de carga en el Puerto de Barranquilla (graneles, líquidos, carbón).	• Extracción y síntesis de datos climáticos y epidemiológicos referenciados en estudios regionales (Vergara-Gómez & Mendoza-Mendoza, 2023; Valdés et al., 2020). • Mapeo relacional de puestos de trabajo (estibadores, operarios de patio, operadores de grúa pórtico) frente a agentes físicos y químicos.	Discusión Matriz analítica operacional del entorno portuario. Caracterización técnica de la triada climática-térmica-química local.
Definir los componentes estructurales y procedimentales de la directriz metodológica para la estandarización de los procesos de evaluación e intervención higiénica en los terminales locales.	• Modelos de integración de sistemas de gestión de contratistas (Sánchez-Herrera, 2024). • Marcos analíticos de gestión de riesgos en terminales de contenedores (Karimi & Mohammadfam, 2021). • Protocolos de higiene industrial y criterios de control de ingeniería.	• Integración sistémica de los hallazgos normativos (Objetivo 1) con las variables críticas locales (Objetivo 2). Diseño heurístico del algoritmo procedimental para evaluaciones higiénicas unificadas. Formulación de lineamientos de control administrativo y de ingeniería específicos para el puerto.	Discusión Directrices Metodológicas Estandarizadas. Protocolo unificado HSEQ para el control y evaluación coordinada de riesgos físicos y químicos.

Fuente: elaboración propia

7. CONCLUSIONES

Al finalizar este informe de resultados del proyecto monográfico, se concretan sus fines generales y específicos, materializándose como entregable principal la formulación de unas directrices metodológicas de estandarización de la evaluación y control de riesgos físicos y químicos, aplicables a todo el tejido empresarial portuario de Barranquilla, enmarcada en el modelo integrador HSEQ y su marco normativo, como respuesta a la latente necesidad de optimización de las condiciones de seguridad y salud en el trabajo en el sector.

La propuesta responde a la necesidad identificada y respaldada mediante revisión sistemática de literatura, de desarticulación de los mecanismos de evaluación y gestión higiénica en las empresas prestadoras de servicios logísticos en el puerto de Barranquilla.

Del mismo modo se concretaron exitosamente las metas específicas de la investigación a saber:

Como resultante de la revisión y análisis normativo y doctrinal, se demostró que pese a contar con un robusto marco regulaciones multinivel, que parten desde las directrices internacionales sugeridas por la OIT (2019), de la que el gobierno colombiano es firmante de convenios que confirman su compromiso de trabajo digno. Del mismo modo, el país acoge la estructura de alto nivel de las normas ISO (9001, 14001, 45001), y a partir de las cuales el ordenamiento jurídico nacional ha estructurado las exigencias perentorias que expresa el Decreto 1072 de 2015 y Resolución 0312 de 2019), que propenden por la seguridad y salud ocupacional en los puertos nacionales.

No obstante, la literatura científica revela como hallazgo, un vacío técnico estructural, dado que los marcos normativos operan bajo un enfoque reduccionista que evalúa los límites máximos

permisibles (TLV) de los agentes químicos de forma aislada, omitiendo las dinámicas de coexposición higiénica que caracterizan a los entornos de transferencia marítima modernos.

Por otra parte, el segundo objetivo específico fijó como meta la identificación de variables críticas operacionales, ambientales y de exposición que inciden en la siniestralidad laboral dentro del microclima portuario de Barranquilla. El análisis realizado permitió identificar una relación estrecha entre las condiciones ambientales propias del entorno portuario y la exposición a agentes químicos durante las operaciones de carga y descarga. Variables como los índices de temperatura de globo y bulbo húmedo (TGBH) superiores a 31,5 °C, la humedad relativa cercana al 82 % y los elevados niveles de ruido configuran un escenario que intensifica los efectos de la exposición al material particulado proveniente de los graneles y a los vapores generados por mercancías peligrosas. La literatura consultada indica que, bajo estas condiciones, el organismo responde con mecanismos fisiológicos como el incremento de la frecuencia respiratoria y la vasodilatación periférica para facilitar la disipación del calor corporal. Como consecuencia, aumenta el volumen de aire inhalado y, con ello, la cantidad de contaminantes que ingresan al sistema respiratorio, situación que pone de manifiesto las limitaciones de las metodologías tradicionales de evaluación cuando consideran de manera independiente los riesgos físicos y químicos. Esta interacción constituye un factor relevante para comprender la aparición de fatiga, alteraciones musculares y el incremento del ausentismo laboral registrado en las empresas de servicios logísticos del Puerto de Barranquilla.

En relación con el tercer objetivo específico, orientado a definir los componentes estructurales y procedimentales de una directriz metodológica para estandarizar los procesos de evaluación e intervención en higiene industrial, la investigación permitió establecer una propuesta técnica fundamentada en los hallazgos obtenidos durante la revisión documental. La

directriz integra procedimientos para la caracterización de las condiciones bioclimáticas del entorno laboral, la identificación de puestos con exposición simultánea a diferentes factores de riesgo, la incorporación de criterios de ajuste para la interpretación de los valores límite permisibles en función de las condiciones térmicas y la definición de un procedimiento jerarquizado para la implementación de medidas de control. En conjunto, estos elementos proporcionan una base metodológica que favorece la aplicación homogénea de los procesos de evaluación higiénica en los terminales portuarios de Barranquilla y facilita su articulación con los sistemas de gestión HSEQ.

Recomendaciones

A partir de los hallazgos documentados y las directrices metodológicas estructuradas en esta investigación, se formulan las siguientes recomendaciones para los actores del tejido empresarial y académico:

- A los operadores portuarios principales del Distrito de Barranquilla: instituir la directriz metodológica estandarizada HSEQ como un requisito técnico contractual de obligatorio cumplimiento para todas las empresas contratistas, subcontratistas y firmas de consultoría satélites que operen en las áreas comunes de la interfaz muelle-patio-buque. Esto asegurará la homogeneidad en el uso de equipos calibrados bajo ISO 17025 y la unificación de los registros higiénicos.
- A los líderes de seguridad y salud en el trabajo (SST) de las empresas de servicios logísticos: reemplazar las matrices de riesgo tradicionales basadas en análisis segmentados por la evaluación compuesta de la triada climática-térmica-química. Se debe aplicar de forma sistemática el factor de corrección sobre los TLV químicos en las jornadas expuestas a picos de radiación térmica solar.

- En el plano de los controles de ingeniería y administrativos: sin lugar a dudas un punto neurálgico de mejora se relaciona con acciones de automatización, en especial mediante la climatización de las cabinas de grúas pórtico y reach stackers con sistemas de filtrado HEPA. Otra necesidad latente son los protocolos obligatorios de pausas de recuperación y puntos de hidratación climatizados, dotación con soluciones salinas, ambientes controlados, entre otras estrategias que han funcionado con éxito en otros contextos tropicales.
- A las administradoras de riesgos laborales (ARL) y entidades de salud: es imperativo participar en el cuidado y atención epidemiológica del sector portuario costero. Se sugiere formación en normativa y criterios de estandarización HSEQ. De este modo, se facilita la unificación de criterios. Por otra parte, deben liderar las acciones de vigilancia, mediante la exigencia de exámenes médicos ocupacionales cruzados, que incluyan espirometrías y audiometrías secuenciales. Amen de programas de prevención centrados en los efectos ototóxicos y neurotóxicos derivados de la coexposición sinérgica en ambientes tropicales.

Para finalizar, como es usual en todo ejercicio investigativo, surgen nuevos interrogantes y algunos requieren nuevas formas de abordaje, delimitaciones más amplias o considerando nuevas variables. Sea esta una oportunidad para que nuevos investigadores trabajen en esta línea de investigación desde enfoques de corte cuantitativo o mediante investigación aplicada que permita la implementación del protocolo diseñado en una terminal específica del Puerto de Barranquilla, permitiendo recolectar datos metabólicos y ambientales directos para validar experimentalmente los factores de corrección higiénica propuestos.

Dado que, frente a los escenarios de calentamiento global, las zonas portuarias tropicales experimentarán un incremento progresivo en la severidad y duración de las olas de calor. La directriz metodológica propuesta sienta las bases teóricas para que la ingeniería de la seguridad y la higiene industrial transiten hacia modelos adaptativos de resiliencia laboral, donde el control predictivo del microclima sea un factor indispensable para garantizar la continuidad de la cadena de suministro marítima global.

8. REFERENCIAS

- Alcaldía Distrital de Barranquilla. (2025). *Plan de Gestión Ambiental Regional y Distrital: Lineamientos para zonas de interfaz portuaria e industrial*. Barranquilla, Colombia. <https://www.barranquilla.gov.co/>
- Al-Rubaiee, M. (2021). *An integrated framework for health, safety, and environmental risk assessment in maritime port operations using fuzzy multi-criteria decision-making* (Tesis doctoral, Liverpool John Moores University). Research Online LJMU. <https://researchonline.ljmu.ac.uk/id/eprint/15432/>
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists [ACGIH]. (2026). TLVs and BEIs: Based on the documentation of the threshold limit values for chemical substances and physical agents & biological exposure indices. ACGIH.
- Anselmo, M., & Silva, J. (2024). Psychosocial risk factors, workload, and operational quality errors in maritime supply chain terminals. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 101, 215-230. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2023.12.012>
- Badiru, A. B., & Osisanya, S. O. (2020). *Environmental health and safety management: A systems engineering approach* (2nd ed.). CRC Press / Taylor & Francis. <https://www.routledge.com/9780367512309>
- Bautista, S. I. M., Herrera, J. P., & Osma, A. C. (2025). *Gestión del riesgo físico, biológico y en seguridad química-Ira edición*. Ecoe Ediciones.
- Berthel-Berthel, D. C. & Padilla-Sarmiento, D.C (2017) Seguridad y Salud Laboral Portuaria Frente al Manejo de Mercancías Peligrosas.

Congreso de Colombia. (1979, 24 de enero). *Ley 9 de 1979: Por la cual se dictan Medidas Sanitarias (Código Sanitario Nacional)*. Diario Oficial No. 35.308.

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0009_1979.html

Congreso de Colombia. (2012, 11 de julio). *Ley 1562 de 2012: Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de Salud Ocupacional*. Diario Oficial No. 48.488.

http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1562_2012.html

Consejo Colombiano de Seguridad. (2025). Informe de siniestralidad y comportamiento de los riesgos laborales en Colombia: Balance del sector transporte y logística. CCS.

Cooper, C. L., & Quick, J. C. (Eds.). (2022). *The handbook of stress and health: A guide to research, praxis, and policy* (2nd ed.). Wiley-Blackwell. <https://www.wiley.com/en-us/9781119642459>

Crizol, G. R., Sá, K. M. M., Santos, G. M., Gonçalves, M. L. L., Santos, E. M., Bussadori, S. K., Pacheco, R. L., Riera, R., Santos, E. M., & Martimbianco, A. L. C. (2024). Work-related musculoskeletal disorders in dockworkers. Systematic review and meta-analysis. *Work-a Journal of Prevention Assessment & Rehabilitation*, 1–16. <https://doi.org/10.3233/work-230666>

Federación de Aseguradores Colombianos. (2025). Indicadores del sistema general de riesgos laborales por actividad económica y regiones. FASECOLDA.

García-Fenoll, M. (2022). *Desarrollo de un modelo de integración de sistemas de gestión HSEQ basado en la gestión por procesos y el pensamiento basado en el riesgo en organizaciones*

logísticas (Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia). Repositorio Institucional UPV. <https://riunet.upv.es/handle/10251/182450>

Gelati, TR, Bonow, CA, do Couto, AM, de Almeida, MCV, Roloff, DIT, & Cezar-Vaz, MR (2017). Riesgos físicos, químicos y biológicos en trabajadores portuarios y potencial de alteraciones respiratorias. *Cogitare Enfermagem*, 22 (2).

<https://docs.bvsalud.org/biblioref/2017/11/868389/49371-206809-1-pb.pdf>

Hoyos, J. A. (2023). *Sistemas integrados de gestión HSEQ: Una guía práctica para la ingeniería y la certificación bajo las normas ISO 9001, ISO 14001 e ISO 45001*. Ediciones de la U.

<https://edicionesdelau.com/producto/sistemas-integrados-de-gestion-hseq/>

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 en el trabajo. ICONTEC.

International Maritime Organization [IMO]. (2022). *International Maritime Dangerous Goods Code (IMDG Code): 2022 Edition*. IMO Publications.

<https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/DangerousGoods-default.aspx>

International Organization for Standardization [ISO]. (2015). *Sistemas de gestión ambiental: Requisitos con orientación para su uso* (Norma ISO 14001:2015).

<https://www.iso.org/standard/60857.html>

International Organization for Standardization [ISO]. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad: Requisitos* (Norma ISO 9001:2015). <https://www.iso.org/standard/62085.html>

- International Organization for Standardization [ISO]. (2018). *Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo: Requisitos con orientación para su uso* (Norma ISO 45001:2018). <https://www.iso.org/standard/62085.html>
- Karimi, A., & Mohammadfam, I. (2021). Developing a comprehensive framework for HSEQ risk integration in port container terminals using multi-criteria decision-making. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 27(3), 784-795. <https://doi.org/10.1080/10803548.2019.1645431>
- Martínez-Flores, C. (2023). *Efectos del estrés térmico por calor sobre la fatiga neuromuscular y la productividad en trabajadores industriales de zonas tropicales costeras* (Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México). Repositorio Institucional UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3624150>
- Meriño, J. D., et al. (2019). *Propuesta Estratégica De Mejora En La Implementación De Los Estándares Mínimos Del Sistema De Gestión De La Seguridad Y Salud En El Trabajo (SG-SST) En La Sociedad Portuaria Regional De Barranquilla S.A. Para El Primer Semestre De 2019*. [Diplomado de profundización para grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/26458>
- Ministerio de la Protección Social. (2008, 17 de julio). *Resolución 2646 de 2008: Por la cual se establecen disposiciones y se definen responsabilidades para la identificación, evaluación, prevención, intervención y monitoreo permanente de la exposición a factores de riesgo psicosocial en el trabajo*. Fondo de Riesgos Laborales. <https://www.fondoderiesgoslaborales.gov.co/>

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1949). Resolución 2400 de 1949: Por la cual se establece el Estatuto de Seguridad Industrial. Bogotá, Colombia.

Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979, 22 de mayo). *Resolución 2400 de 1979: Por la cual se estatuyen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo*. Diario Oficial No. 35.348. <https://www.mintrabajo.gov.co/>

Ministerio del Trabajo. (2015, 26 de mayo). *Decreto 1072 de 2015: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Trabajo*. Diario Oficial No. 49.523. <https://www.mintrabajo.gov.co/normatividad/decreto-unico-reglamentario>

Ministerio del Trabajo. (2018). Decreto 1496 de 2018: Por el cual se adopta el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos y se dictan otras disposiciones en materia de seguridad química. Bogotá, Colombia.

Ministerio del Trabajo. (2019, 13 de febrero). *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*. Diario Oficial No. 50.866. <https://www.mintrabajo.gov.co/>

Ministerio del Trabajo. (2020, 11 de febrero). *Resolución 0491 de 2020: Por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajos en espacios confinados*. Diario Oficial No. 51.224. <https://www.mintrabajo.gov.co/>

Ministerio del Trabajo. (2021). Resolución 773 de 2021: Por la cual se definen las acciones que deben desarrollar los empleadores para la aplicación del Sistema Globalmente Armonizado (SGA) en los lugares de trabajo. Bogotá, Colombia. <https://www.mintrabajo.gov.co/>

- Ministerio del Trabajo. (2021, 29 de octubre). *Resolución 4272 de 2021: Por la cual se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajo en alturas*. Diario Oficial No. 51.843. <https://www.mintrabajo.gov.co/>
- Ministerio del Trabajo. (2025, 22 de enero). *Resolución 3461 de 2025: Por la cual se actualizan los lineamientos para la conformación y funcionamiento de los Comités de Convivencia Laboral y medidas de prevención del acoso laboral*. Diario Oficial No. 53.210. <https://www.mintrabajo.gov.co/>
- Nunes, I. L., & Simões-Marques, M. (2022). Integrated management systems in maritime logistics: Splicing ISO 9001, ISO 14001, and ISO 45001 for operational excellence. *Safety Science*, 148, 105650. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105650>
- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (1990). Convenio 170 sobre los productos químicos. OIT.
- Organización Internacional del Trabajo [OIT]. (2019). *Seguridad y salud en los puertos: Repertorio de recomendaciones prácticas de la OIT* (Ed. revisada). Oficina Internacional del Trabajo. https://www.ilo.org/global/publications/ilo-bookstore/order-online/books/WCMS_650424/lang--es/index.htm
- Organización Marítima Internacional [OMI]. (2024). IMDG Code: International Maritime Dangerous Goods Code (2024 Edition). OMI.
- Parra, Nelly & Nagi, Ayman & Kersten, Wolfgang. (2018). Risk Assessment Methods in Seaports: A Literature Review. DOI: 10.13140/RG.2.2.32359.50081.
- Pertuz Meza, Y. Rebolledo Castillo, M. V., Vásquez Brochero, H. & Gil Escamilla, M. J. (2022). Efectos para la salud respiratoria de los trabajadores que usan sustancias químicas en su

medio laboral. Una revisión sistemática. *Revista Salud Uninorte*, 38 (2), 560-585.

Publicación electrónica del 23 de mayo de 2023. <https://doi.org/10.14482/sun.38.2.616.2>

Rodríguez-Sánchez, J. A. (2021). *Evaluación del impacto de los factores de riesgo psicosocial en la seguridad operativa y la accidentabilidad laboral: Un modelo analítico en terminales portuarios de carga contenerizada* (Tesis doctoral, Universidad de Cádiz). REDUCA.

<https://rodin.uca.es/handle/10498/25012>

Sampson, H., & Ellis, N. (2021). The integration of health, safety, environment, and quality (HSEQ) in the port sector: Barriers and facilitators for third-party logistics contractors.

Marine Policy, 129, 104523. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104523>

Sánchez-Herrera, L. M. (2024). *Diseño de herramientas de transferencia tecnológica para la estandarización y optimización de sistemas de gestión de contratistas en empresas de la cadena de suministro* (Tesis doctoral, Universidad del Norte). Repositorio Digital Uninorte.

<https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/11340>

Sánchez-Herrera, O. (2024). *Evaluación del material particulado y dispersión de contaminantes en terminales portuarias multipropósito del Caribe colombiano*. Editorial Unimagdalena.

Trbojevic, V. M. (2022). *Risk management in port operations, logistics and supply chain*

security. Informa Law from Routledge. <https://www.routledge.com/9781138318205>

Valdés L., Ortega, G. & Consuegra, J. (2020). Mapa de riesgos tecnológicos asociados al manejo de mercancías peligrosas en los puertos de Barranquilla. *Prospectiva*, 17 (1), 62-69.

Publicación electrónica del 2 de junio de 2026. <https://doi.org/10.15665/rp.v17i1.1814>

Vergara-Gómez, A., & Mendoza-Mendoza, A. (2023). Estrés térmico y su impacto en la productividad y la salud ocupacional de trabajadores portuarios en la región Caribe

colombiana. *Revista Politécnica*, 19(37), 89-104.

<https://revistas.elpoli.edu.co/index.php/pol/article/view/2150>

Zwetsloot, G. I., & Leka, S. (Eds.). (2021). *Healthy workplaces: Integrating safety, health, and wellbeing into management systems*. Springer.

<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-59467-1>