

Seguridad y salud en el trabajo: innovación y sostenibilidad en la transición energética

Occupational health and safety: Innovation and sustainability in the energy transition

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.21810492>

Recibido: 2026-05-14 Aceptado: 2026-06-20

León Estrada, Fernando Tomas¹

Correo: fernando3275@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-9437-6758>

Medina Cazador, Antonio José²

Correo: antoniomedinauptz@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-4390-1577>

Montes de Oca Andrade, Julio César³

Correo: eltribologo@yahoo.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1856-7828>

Resumen

Esta revisión sistemática, bajo las directrices PRISMA 2020, analiza la transformación de la seguridad y salud en el trabajo (SST) durante la transición de la industria fósil a las energías renovables. De un filtrado inicial de 1.449 registros (2020-2026), se seleccionó y analizó un corpus final de 13 estudios mediante síntesis narrativa. Los hallazgos muestran que la descarbonización no elimina los riesgos laborales, sino que los redistribuye según la tecnología. Innovaciones digitales como IoT (Internet de las Cosas) y digital twins (Gemelos Digitales) reducen incidentes, pero su éxito depende, estrictamente del safety climate (Clima de Seguridad) organizacional. Asimismo, los marcos de process safety (Seguridad de los procesos) de Oil & Gas son un punto de partida válido que requiere adaptación contextual.

Palabras clave: Seguridad y salud en el trabajo, transición energética, energías renovables, riesgos ocupacionales emergentes.

Abstract

This systematic review, conducted in accordance with PRISMA 2020 guidelines, analyzes the transformation of occupational health and safety (OHS) during the transition from the fossil fuel

¹ Ingeniero en Higiene y Seguridad Laboral. Magister en Docencia para Educación Superior. Profesor de la Universidad Politécnica Territorial del Zulia (UPTZ). Zulia, Venezuela.

² Ingeniero en Higiene y Seguridad Laboral. Profesor de la Universidad Politécnica Territorial del Zulia (UPTZ). Zulia, Venezuela.

³ Ingeniero en Mantenimiento Mecánico. Magíster en Docencia para la Educación Superior. Profesor de la Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt. Zulia, Venezuela.



industry to renewable energy. From an initial screening of 1,449 records (2020–2026), a final corpus of 13 studies was selected and analyzed using narrative synthesis. The findings indicate that decarbonization does not eliminate occupational risks but rather redistributes them based on the technology involved. Digital innovations such as IoT and digital twins reduce incidents, however their success depends strictly on the organizational safety climate. Furthermore, process safety frameworks from the oil and gas sector serve as a valid starting point that requires contextual adaptation.

Keywords: occupational safety and health, energy transition, renewable energies, emerging occupational risks.

Introducción

La transición global de las industrias fósiles a las energías renovables está reconfigurando, radicalmente, los perfiles de riesgo laboral en el sector energético. Si bien la industria del Oil & Gas legó marcos metodológicos robustos en seguridad de procesos, tecnologías emergentes como el hidrógeno, bioenergía y digitalización, introducen riesgos físicos y psicosociales que desafían los enfoques tradicionales de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST).

Actualmente, existe una brecha crítica en la literatura científica: los estudios sobre el tema están fragmentados por tecnologías y omiten la dimensión humana de la descarbonización, ignorando que la SST es un pilar fundamental para una transición justa. Este trabajo ofrece la primera revisión sistemática que unifica la gestión de la seguridad, riesgos emergentes y sostenibilidad en el cruce de ambos modelos energéticos, sirviendo como guía estratégica para investigadores y tomadores de decisiones.

1. Fundamentos teóricos

Analizar la SST en el contexto actual requiere entender que la transformación del sector energético global y sus implicaciones laborales altera no solo la cantidad, sino la naturaleza del trabajo. Esta migración hacia las renovables sitúa a la seguridad y salud en el trabajo ante la reconfiguración de riesgos industriales inéditos, donde los marcos tradicionales resultan insuficientes. Abordar esta brecha técnica es un requisito indispensable para alcanzar una transición energética justa: la SST como condición estructural, no periférica, que priorice al ser humano en la ecuación de la sostenibilidad. Sin embargo, el estado del conocimiento: avances sectoriales y brecha de síntesis revela que la ciencia ha tratado estos fenómenos de forma aislada, haciendo imperativa una perspectiva unificada como la que aquí se presenta.





1.1. La transformación del sector energético global y sus implicaciones laborales

La transición energética global constituye uno de los procesos de transformación estructural más profundos de la economía contemporánea. Su alcance no se limita a la sustitución de fuentes de generación: implica la reconfiguración de cadenas de valor, redistribución geográfica de la actividad industrial y modificación sustancial de las condiciones en que trabajan millones de personas en todo el mundo.

En términos cuantitativos, según las International Renewable Energy Agency & International Labour Organization (2024), el sector de las energías renovables empleaba, en 2023, al menos 16,2 millones de personas a nivel global, frente a 13,7 millones registrados apenas un año antes, lo que refleja una expansión sin precedentes en la historia reciente del empleo energético. Las proyecciones disponibles anticipan que esta tendencia continuará: según la Agencia Internacional de Energía (IEA, siglas en inglés, 2023), más de 30 millones de empleos podrían crearse en energía limpia, eficiencia y tecnologías de bajas emisiones para el año 2030.

Sin embargo, esta expansión no es socialmente neutra. Los nuevos empleos no siempre se crean en los mismos territorios ni para los mismos trabajadores que pierden sus puestos en industrias fósiles en declive. Los flujos laborales entre sectores son complejos, geográficamente concentrados y frecuentemente asimétricos en términos de calificación requerida, condiciones contractuales y protección social. En este sentido, la transición energética no es únicamente un fenómeno tecnológico o económico: reconfigura de forma profunda las condiciones en que se trabaja, lo que convierte su dimensión laboral en un objeto de análisis urgente e insuficientemente atendido por la investigación científica.

1.2. La seguridad y salud en el trabajo ante la reconfiguración de riesgos industriales

Entre las dimensiones laborales de la transición energética, la seguridad y salud en el trabajo ocupa un lugar crítico. El sector energético ha sido, históricamente, uno de los campos donde más se ha desarrollado la gestión sistemática de riesgos industriales: las industrias maduras, y en particular Oil & Gas, han construido, durante décadas, marcos robustos de seguridad en los procesos, sistemas de jerarquía de controles, modelos de análisis de riesgos — como HAZOP, Bowtie o árboles de fallos— y culturas organizacionales de seguridad que constituyen un patrimonio técnico e institucional de referencia internacional.





Estos marcos han demostrado su eficacia en entornos con alto potencial de consecuencias catastróficas y constituyen la base sobre la que se ha construido gran parte del conocimiento aplicado en SST industrial.

No obstante, la emergencia de nuevas tecnologías energéticas —hidrógeno, bioenergía, solar fotovoltaico, eólica offshore— introduce perfiles de riesgo, cualitativamente, distintos para los cuales los marcos heredados de las industrias de alto riesgo no ofrecen respuestas automáticas ni siempre adecuadas. Pasman et al. (2023) documentaron que la transición hacia tecnologías energéticas emergentes plantea desafíos de seguridad de los procesos sustancialmente nuevos, entre los cuales destacan los riesgos asociados a la producción y manejo de hidrógeno, los sistemas de almacenamiento de energía y la electrificación de procesos industriales, ámbitos en los que el conocimiento empírico sobre fallos y consecuencias sigue siendo incipiente. Esta situación no es marginal: implica que trabajadores que operan en instalaciones de nueva generación pueden estar expuestos a riesgos para los cuales ni los protocolos de protección ni los sistemas de vigilancia han sido adecuadamente desarrollados.

A esta brecha entre tecnologías emergentes y marcos de gestión disponibles se suma otro vector de complejidad. La investigación sobre riesgos nuevos y emergentes en SST identifica la transición energética como uno de los procesos de mayor dinamismo en la reconfiguración de peligros ocupacionales, con riesgos que combinan dimensiones físicas, químicas y organizacionales de naturaleza novedosa (Lindholm et al., 2024).

Al mismo tiempo, la incorporación de tecnologías digitales e Industria 4.0 a los entornos de trabajo energéticos ofrece herramientas inéditas de monitoreo, control y mantenimiento predictivo, pero también introduce riesgos psicosociales, mecánicos y de interacción humano-tecnología que los enfoques clásicos de gestión de SST no contemplan en su totalidad (Arana-Landín et al., 2023). La innovación tecnológica, en suma, no resuelve por sí sola el problema de la seguridad laboral: lo transforma y, en algunos casos, lo complejiza. Este panorama técnico se enmarca, a su vez, en un debate más amplio: el de si la transición energética está siendo gestionada de manera que proteja efectivamente a quienes trabajan en ella.

1.3. Transición energética justa: la SST como condición estructural, no periférica

La pregunta sobre la protección laboral en la transición energética ha encontrado su expresión institucional más articulada en el marco de la transición justa. Las Directrices para una Transición Justa de la Organización Internacional del Trabajo, publicadas en 2015 y ratificadas





mediante resolución en la 111.^a Conferencia Internacional del Trabajo de 2023, incorporan explícitamente la SST como uno de los componentes de una transición que sea equitativa e inclusiva: junto a la creación de empleo decente, el desarrollo de competencias y el diálogo social, la protección de la salud y seguridad de los trabajadores se reconoce como condición sine qua non de una descarbonización que no deje a nadie atrás (OIT, 2015/2023).

Sin embargo, existe una tensión significativa entre ese reconocimiento normativo y la evidencia empírica disponible. A pesar del marco institucional establecido, la investigación sobre condiciones laborales reales en las nuevas industrias energéticas sigue siendo limitada y frecuentemente periférica respecto al objeto central de los estudios, que tienden a priorizar dimensiones tecnológicas o económicas de la transición sobre las laborales y de salud (Turner et al., 2025). Esta brecha investigadora tiene consecuencias concretas: sin evidencia suficiente sobre los riesgos a los que se enfrentan los trabajadores en las cadenas de valor de tecnologías como el solar fotovoltaico, el hidrógeno o la bioenergía, no es posible diseñar políticas de prevención adecuadas ni evaluar si las condiciones de trabajo en las nuevas industrias son efectivamente mejores que las que se dejan atrás.

Más aún, la presión por acelerar la descarbonización puede generar condiciones de informalidad, exposición no regulada y precariedad laboral en segmentos de las cadenas de valor renovables, reproduciendo o intensificando vulnerabilidades que el discurso de sostenibilidad tiende a invisibilizar. Esto sugiere que la relación entre transición energética y mejora de las condiciones de trabajo no es automática: depende, en gran medida, de si la SST se incorpora como dimensión estructural del proceso de transición o se trata como una externalidad a gestionar una vez que las instalaciones ya están en operación.

Una transición energética genuinamente sostenible desde el punto de vista social exige que esa incorporación sea temprana, deliberada y basada en evidencia.

1.4. Estado del conocimiento: avances sectoriales y brecha de síntesis

El campo de la SST en el sector energético cuenta con contribuciones valiosas y crecientes. Existe una literatura activa sobre riesgos de proceso en tecnologías emergentes —con énfasis en hidrógeno, bioenergía y electrificación industrial—, así como sobre el impacto de las tecnologías de la Industria 4.0 en los sistemas de gestión de seguridad. Vitale et al. (2024), en una revisión sobre riesgos ocupacionales emergentes en empleos verdes, concluyeron que la literatura científica disponible es escasa en lo que respecta a riesgos nuevos asociados a





escenarios de trabajo sostenible, y que los estudios tienden a centrarse en tecnologías o sectores específicos sin ofrecer una visión integrada de los cambios en curso.

Este rasgo de fragmentación sectorial es precisamente el problema estructural del campo. Las contribuciones existentes operan, en su mayoría, dentro de los límites de una tecnología, un subsector o un tipo de riesgo particular, sin articularse en torno a la pregunta más amplia de cómo la transición energética, considerada como proceso global de cambio sectorial, está transformando la SST en su conjunto. La brecha dominante es, por tanto, una brecha de síntesis: los estudios existen, pero no han sido integrados sistemáticamente en torno a esa pregunta transversal. A esta brecha se añade una dimensión empírica secundaria: la escasez de estudios longitudinales y la ausencia de comparaciones directas y controladas entre sectores fósiles y renovables, que impedirían establecer conclusiones sobre la magnitud real del cambio en los perfiles de riesgo entre modelos energéticos.

Hasta la fecha, no existe una revisión sistemática que integre de forma explícita y articulada los riesgos ocupacionales emergentes, las innovaciones en gestión de seguridad laboral y la dimensión de sostenibilidad y transición justa en el cruce temático entre la industria Oil & Gas y las energías renovables. Esta ausencia constituye la brecha que justifica el presente trabajo.

Esta revisión sistemática tiene por objetivo consolidar el conocimiento científico disponible sobre la transformación de la SST en el sector energético, enmarcado en el tránsito global de la industria fósil a las renovables.

Dicho propósito se despliega en tres metas específicas: identificar los nuevos perfiles de riesgo tecnológico, recopilar las innovaciones organizativas y digitales en gestión de la seguridad, y definir vías de convergencia entre SST y sostenibilidad.

El valor diferencial del artículo es su enfoque integrador. Al ser la primera síntesis que reúne estos tres componentes en la intersección del Oil & Gas y las energías limpias, se supera la dispersión teórica existente. El resultado provee una plataforma de evidencia estructurada útil tanto para la comunidad científica como para los tomadores de decisiones y diseñadores de políticas laborales en contextos de descarbonización.

2. Metodología

Este capítulo describe el diseño metodológico implementado para analizar la evolución de la seguridad y salud en el trabajo en el contexto de la transición energética. A través de un





enfoque estructurado, se detallan los pilares que sustentan la validez de la revisión: adopción de directrices internacionales de reporte, delimitación conceptual del sector energético bajo estudio y estrategia de búsqueda ejecutada en bases de datos de alta cobertura.

De igual forma, se especifican las reglas de elegibilidad, fases de filtrado y extracción de datos, los instrumentos diferenciados de evaluación de calidad según el diseño de origen y método inductivo de síntesis temática que dio forma al análisis de los resultados.

2.1. Tipo de estudio y declaración de adherencia

El presente trabajo corresponde a una revisión sistemática de literatura (Snyder, 2019) desarrollada con adherencia a las directrices PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021). Al tratarse de un estudio de síntesis documental que no involucra intervención sobre participantes humanos ni acceso a datos personales, no se requirió aprobación de comité de ética institucional.

2.2. Pregunta de investigación y objetivos

La revisión se organizó en torno a la siguiente pregunta estructurada: ¿cómo está transformándose la seguridad y salud en el trabajo en el sector energético —incluyendo Oil & Gas, energías renovables, hidrógeno, bioenergía, petroquímica, minería energética y gas natural— en el contexto de la transición energética global?

2.3. Fuentes de información y estrategia de búsqueda

La búsqueda sistemática se realizó en tres bases de datos seleccionadas por su cobertura disciplinar complementaria: IEEE Xplore (Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), por su especialización en ingeniería aplicada y tecnología industrial; ScienceDirect, por su amplitud en ciencias aplicadas, energía y salud ocupacional; y SciELO, por su cobertura de literatura científica latinoamericana en salud ocupacional y sostenibilidad. El rango temporal se estableció entre 2020 y 2026, período que coincide con el inicio de la implementación de las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional (NDC) derivadas del Acuerdo de París y con una aceleración significativa de la producción académica sobre SST y transición energética.

Las ecuaciones de búsqueda se construyeron combinando cuatro bloques temáticos: términos asociados a SST y seguridad laboral, términos del sector energético, términos de transición o transformación energética, y términos de innovación o sostenibilidad. En todas las





bases se aplicaron filtros comunes: acceso abierto, idioma inglés o español, y artículos de investigación empírica o aplicada.

2.4. Criterios de elegibilidad

Se establecieron criterios de inclusión y exclusión de forma prospectiva, previo al inicio del proceso de selección. Fueron elegibles para inclusión los estudios empíricos, de modelización aplicada, documentales o de análisis de decisión multicriterio que abordaran SST, riesgos laborales o seguridad industrial en el sector energético, entendido de forma amplia para incluir Oil & Gas, energías renovables, hidrógeno, bioenergía, petroquímica, minería energética y gas natural.

Se requirió que los estudios hubieran sido publicados entre 2020 y 2026, en inglés o español, con acceso abierto y con un proceso metodológico explícito y reproducible.

Fueron excluidos los estudios sin vínculo directo ni indirecto con riesgos ocupacionales o gestión de seguridad en el sector energético, así como aquellos que empleaban los términos "safety" o "salud" en sentidos no ocupacionales, como seguridad alimentaria, entornos hospitalarios o mercados financieros. También se excluyeron las revisiones narrativas sin datos primarios o secundarios propios y los documentos sin metodología declarada.

2.5. Proceso de selección y extracción de datos

La selección se realizó en dos fases secuenciales. En la primera fase, los registros identificados fueron cribados por título y resumen aplicando los criterios de elegibilidad establecidos. Los registros que superaron esta fase avanzaron a una segunda fase de evaluación a texto completo, en la que se verificó el cumplimiento estricto de todos los criterios. El proceso de selección fue llevado a cabo por el autor principal, con verificación de una muestra representativa de registros por un segundo evaluador para reducir el riesgo de sesgo en la inclusión.

La extracción de datos se realizó mediante un formulario estructurado diseñado para esta revisión. Las variables extraídas por estudio incluyeron: autor y año de publicación, país o región, diseño metodológico, sector energético, tecnología o proceso analizado, riesgo SST principal, hallazgo central, herramienta de gestión reportada, y grado de énfasis en transición energética y sostenibilidad. Los datos extraídos se organizaron en una matriz que da origen al anexo 1.





2.6. Evaluación de calidad metodológica

Dado que el corpus incluye tipos de estudio con lógicas epistémicas distintas, se emplearon herramientas de appraisal diferenciadas según el diseño de cada estudio. Para los estudios con encuesta y modelización estructural —Masudin et al. (2024), Milošević et al. (2025) y Nunoo et al. (2026)— se aplicó el checklist JBI para estudios transversales. Para los estudios de métodos mixtos y casos múltiples —Sovacool & Stock (2024) y Li et al. (2025)— se utilizó el Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT).

Los estudios documentales y de análisis de bases de incidentes —Hegazy et al. (2025), Wen et al. (2022) y Guida et al. (2020)— fueron evaluados mediante un appraisal adaptado para evidencia registral. Los estudios de modelización de riesgos e ingeniería aplicada —Khan et al. (2025), Marhavidas et al. (2025) y Yingchun et al. (2021)— se evaluaron con un appraisal adaptado para modelización. Finalmente, los estudios de decisión multicriterio —Mashaba y Mathaba (2025) y Noshchenko et al. (2025)— fueron valorados con un instrumento específico para diseños MCDM y MCDA. El juicio global de cada estudio se expresó en dos niveles efectivos: moderado y moderado-bajo, coherentes con los perfiles del corpus. Los resultados se presentan en el anexo 2.

2.7. Método de síntesis

Dada la heterogeneidad de diseños, poblaciones, sectores y outcomes del corpus, la agregación estadística de resultados no resultaba viable ni apropiada. En consecuencia, se optó por una síntesis narrativa temática siguiendo el marco propuesto por Popay et al. (2006), complementado con el enfoque de síntesis temática de Thomas y Harden (2008). El proceso se desarrolló en dos pasos. En el primero, se realizó una lectura transversal de los hallazgos principales de cada estudio para identificar patrones temáticos recurrentes de forma inductiva. En el segundo, esos patrones fueron organizados en cinco ejes analíticos mostrados en las secciones de resultados. Estos ejes estructuran la presentación de resultados en la sección 3.4, cuya síntesis se complementa con el anexo 3 y la figura 2.

3. Resultados

El análisis del corpus documental revela un panorama complejo donde la descarbonización energética reconfigura, en lugar de eliminar, las demandas de seguridad industrial. Para facilitar su comprensión y discusión, esta sección expone de forma integrada la evidencia científica recuperada. El recorrido analítico detalla la distribución de los riesgos según la tecnología



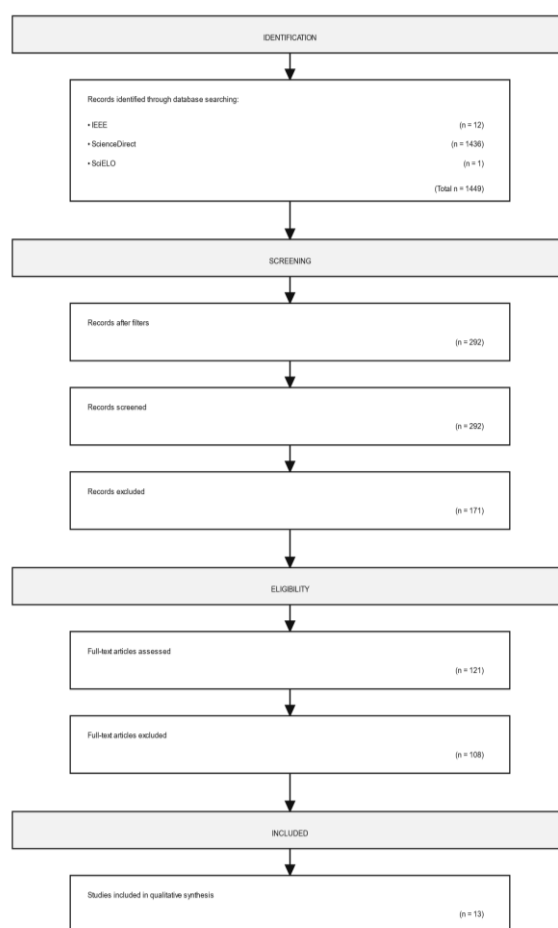


involucrada, examina el papel de las herramientas de la Industria 4.0 bajo el prisma del safety climate y evalúa la adaptabilidad de los sistemas heredados de Oil & Gas, ofreciendo un mapa crítico de las condiciones actuales de la SST en el sector

3.1. Búsqueda y selección de estudios

La búsqueda sistemática en las tres bases de datos consultadas —IEEE Xplore, ScienceDirect y SciELO— arrojó un total de 1,449 registros iniciales. IEEE Xplore aportó 12 registros, ScienceDirect 1,436 y SciELO 1, todos correspondientes al período 2020–2026 y aplicando filtros de acceso abierto, idioma inglés o español, y tipo de artículo empírico o de investigación. El proceso completo de selección se representa en el diagrama PRISMA de la figura 1.

Figura 1. Diagrama PRISMA



Fuente: Page et al. (2021)



Tras la eliminación de duplicados, un total de 287 registros procedentes de ScienceDirect fueron sometidos a cribado por título y resumen, junto con los registros de IEEE y SciELO. En esta fase se excluyeron 170 registros por no cumplir criterios temáticos mínimos, incluyendo estudios sobre seguridad alimentaria, entornos hospitalarios, enfermería y mercados financieros. Un total de 117 artículos avanzaron a la fase de evaluación a texto completo.

La lectura a texto completo resultó en la exclusión de 104 artículos, principalmente por ausencia de vínculo directo con riesgos ocupacionales en el sector energético, insuficiencia metodológica o falta de relevancia respecto a la pregunta de revisión. El corpus final quedó conformado por 13 estudios, los cuales constituyen la base analítica de esta revisión. Una vez establecido el corpus definitivo, el siguiente paso consistió en caracterizar los estudios incluidos en términos de diseño, sector, foco analítico y contribución evidencial (Véase la figura 1)

3.2. Características generales de los estudios incluidos

El corpus final comprende 13 estudios publicados entre 2020 y 2026, con mayor concentración en el período 2024–2026 (nueve estudios), lo que refleja el creciente interés académico reciente por la intersección entre SST y transición energética. La distribución geográfica es amplia y heterogénea: los estudios provienen de Indonesia, Sudáfrica, Ghana, Brasil, Grecia, Serbia, Noruega, Australia, Reino Unido, India, China, Canadá y contextos multirregionales, con notable presencia del Sur Global y de economías en diferentes etapas de transición energética. Esta diversidad geográfica enriquece el alcance de la síntesis, aunque limita la comparabilidad directa entre contextos. Las características completas de cada estudio se presentan en el anexo 1.

En cuanto a los diseños metodológicos, el corpus es heterogéneo: se identifican encuestas con modelización estructural mediante SEM o PLS-SEM (Masudin et al., 2024; Milošević et al., 2025; Nunoo et al., 2026), modelización aplicada de riesgos (Khan et al., 2025; Marhavidas et al., 2025; Yingchun et al., 2021), análisis de decisión multicriterio —MCDM/MCDA— (Mashaba y Mathaba, 2025; Noshchenko et al., 2025), análisis documentales y de bases de incidentes (Hegazy et al., 2025; Wen et al., 2022; Guida et al., 2020), métodos mixtos (Sovacool y Stock, 2024) y casos múltiples con análisis cuantitativo (Li et al., 2025). Sectorialmente, Oil & Gas concentra el mayor número de estudios, seguido de bioenergía, hidrógeno, solar fotovoltaico, petroquímica, minería energética y gas natural. Las unidades analíticas varían entre trabajadores directos, instalaciones, incidentes y tecnologías, lo que refleja la pluralidad de aproximaciones





con que la literatura aborda la SST en el sector energético. Dado este perfil metodológico diverso, el siguiente paso consistió en evaluar el rigor global y la solidez analítica del corpus.

3.3. Calidad metodológica, rigor analítico y aplicabilidad de la evidencia

La evaluación de calidad metodológica, resumida en el anexo 2, revela un patrón homogéneo: la totalidad de los estudios incluidos recibió un juicio global de rigor moderado. Este resultado es consistente con las características predominantes del corpus: diseños transversales en los estudios empíricos, casos únicos en la modelización aplicada, dependencia de fuentes secundarias en los estudios registrales y ausencia de grupos de control o seguimiento longitudinal. Ningún estudio alcanzó un nivel de rigor alto, aunque tampoco se identificaron estudios con rigor insuficiente que justificaran una exclusión tardía.

No obstante, esa homogeneidad en el juicio global, los estudios presentan perfiles de fortaleza diferenciados según su tipo de evidencia. Los estudios empíricos con base laboral directa —Masudin et al. (2024), Milošević et al. (2025), Nunoo et al. (2026) y Sovacool y Stock (2024)— aportan validez de constructo y anclaje en poblaciones reales, aunque limitados por su transversalidad y contextos específicos. Los estudios registrales —Hegazy et al. (2025), Wen et al. (2022) y Guida et al. (2020)— ofrecen amplitud temporal y cobertura de eventos severos, pero con riesgo de subregistro y dependencia de datos corporativos.

Los estudios de modelización y decisión multicriterio —Khan et al. (2025), Marhaviyas et al. (2025), Mashaba y Mathaba (2025) y Noshchenko et al. (2025)— son útiles para la priorización de riesgos y la evaluación de alternativas, pero carecen de outcomes ocupacionales directos. Bajo estas condiciones, el corpus es adecuado para una síntesis cualitativa temática, pero no reúne las condiciones necesarias para un meta-análisis cuantitativo. Establecido el perfil metodológico del corpus, la evidencia fue sintetizada temáticamente en cinco ejes analíticos.

3.4. Síntesis temática de la evidencia

Con el propósito de transformar la heterogeneidad de los datos extraídos en un cuerpo de conocimiento cohesionado, se aplicó un proceso de codificación inductiva a los 13 estudios seleccionados. Este análisis transversal permite trazar un mapa general sobre el estado de la SST en la transición energética. En las líneas siguientes se sintetizan los rasgos descriptivos del corpus, examinando cómo la literatura científica aborda la relación entre el declive de las energías fósiles y el auge de las tecnologías renovables.





Riesgos ocupacionales emergentes en tecnologías energéticas

El corpus evidencia que los riesgos laborales en el sector energético no desaparecen con la descarbonización, sino que se transforman y redistribuyen en función de las tecnologías involucradas. En bioenergía, Hegazy et al. (2025) documentaron 75 incidentes en plantas de biogás ocurridos entre 1990 y 2023, identificando biohazards, explosiones, riesgos eléctricos y mecánicos como patrones recurrentes. Khan et al. (2025) reportaron un perfil similar en producción industrial de biodiésel, donde incendios, fugas químicas, derrames y error humano constituyen los principales vectores de daño. En hidrógeno, Wen et al. (2022) analizaron 706 incidentes registrados en la base HIAD, concluyendo que los factores humanos son el elemento dominante en la cadena causal de eventos, por encima de los fallos técnicos.

A estos riesgos de proceso se suma una dimensión sociolaboral de naturaleza distinta: Sovacool y Stock (2024) documentaron que la cadena de valor del solar fotovoltaico expone a trabajadores y recicladores a sustancias tóxicas en condiciones de informalidad y precariedad laboral, ampliando el concepto de riesgo más allá del entorno industrial convencional. La evidencia sugiere así que la transición energética no solo modifica los perfiles de peligro, sino que exige respuestas tecnológicas y organizacionales diferenciadas por subsector.

Innovaciones tecnológicas para la gestión de seguridad laboral

Varios estudios del corpus documentan el uso creciente de tecnologías digitales para la prevención y control de riesgos en entornos energéticos. Li et al. (2025) mostraron que la implementación de sistemas de gestión de seguridad ciberfísica —CSMS— combinados con IoT y digital twins en instalaciones de hidrógeno se asocia con una reducción efectiva de incidentes y una mejora en la respuesta operativa. Mashaba y Mathaba (2025) evaluaron mediante análisis multicriterio TOPSIS el desempeño de tecnologías 4IR —sensores inteligentes, robótica e inteligencia artificial— en el sector petroquímico, concluyendo que el mantenimiento predictivo basado en IoT representa la alternativa con mayor potencial para la gestión de integridad de equipos. Sin embargo, Masudin et al. (2024) introdujeron una condición importante: en el contexto upstream de Oil & Gas en Indonesia, la interacción humano-tecnología solo mejora los resultados de seguridad cuando el safety climate organizacional es favorable. Este hallazgo sugiere que la efectividad de la innovación tecnológica no es automática, sino que está mediada por factores culturales y organizacionales que no pueden sustituirse con soluciones técnicas.





Adaptación y transferencia de modelos de seguridad desde Oil & Gas

La evidencia disponible muestra que las lógicas de seguridad de los procesos desarrolladas en industrias de alto riesgo mantienen su relevancia en el contexto de la transición energética, aunque su transferencia no es directa ni universalmente adecuada. Marhavi et al. (2025) aplicaron una combinación de HAZOP, análisis de árbol de fallos y método AHP a una estación de medición y regulación de gas natural en Grecia, logrando priorizar riesgos críticos asociados a liberaciones de gases tóxicos e inflamables. Yingchun et al. (2021) demostraron en una refinería china que la implementación de un modelo anti-management de seguridad produjo mejoras sostenidas en los scores de seguridad durante un período de seis meses. Milošević et al. (2025), mediante SEM en el sector minero energético de Serbia, confirmaron que el clima organizacional actúa como mediador significativo en el desempeño de la SST, independientemente de la tecnología empleada.

En conjunto, estos estudios sugieren que los marcos analíticos y normativos heredados de Oil & Gas son un punto de partida válido, pero que algunas tecnologías renovables y sus cadenas de trabajo requieren ajustes que los enfoques clásicos de seguridad de los procesos no contemplan en su totalidad.

Seguridad laboral, transición energética y sostenibilidad

La relación entre SST y transición energética no se limita al cambio tecnológico; involucra también dimensiones laborales, organizacionales y de gobernanza que determinan si dicha transición es o no socialmente sostenible. Noshchenko et al. (2025) evaluaron mediante MCDA con stakeholders la electrificación de plataformas offshore en Noruega, incorporando la seguridad laboral como criterio social explícito, y concluyeron que la electrificación es la alternativa preferible también desde esa dimensión. Nunoo et al. (2026) identificaron, a través de un modelo TPB extendido aplicado en Ghana, que los factores psicológicos —actitud, norma subjetiva y control percibido— predicen significativamente la conducta de preparación ante emergencias industriales, lo que subraya el papel de los determinantes individuales y organizacionales en la seguridad. En contraste, Sovacool y Stock (2024) evidenciaron que la expansión del solar fotovoltaico puede reproducir injusticias laborales estructurales cuando la informalidad, la exposición tóxica y la falta de protección no son abordadas desde el diseño de las políticas de transición. Estos hallazgos convergen en una implicación mayor: incorporar la SST como dimensión estructural —y no periférica— de la transición energética es una condición necesaria para que esta sea genuinamente sostenible.





Brechas de conocimiento y límites de la evidencia disponible

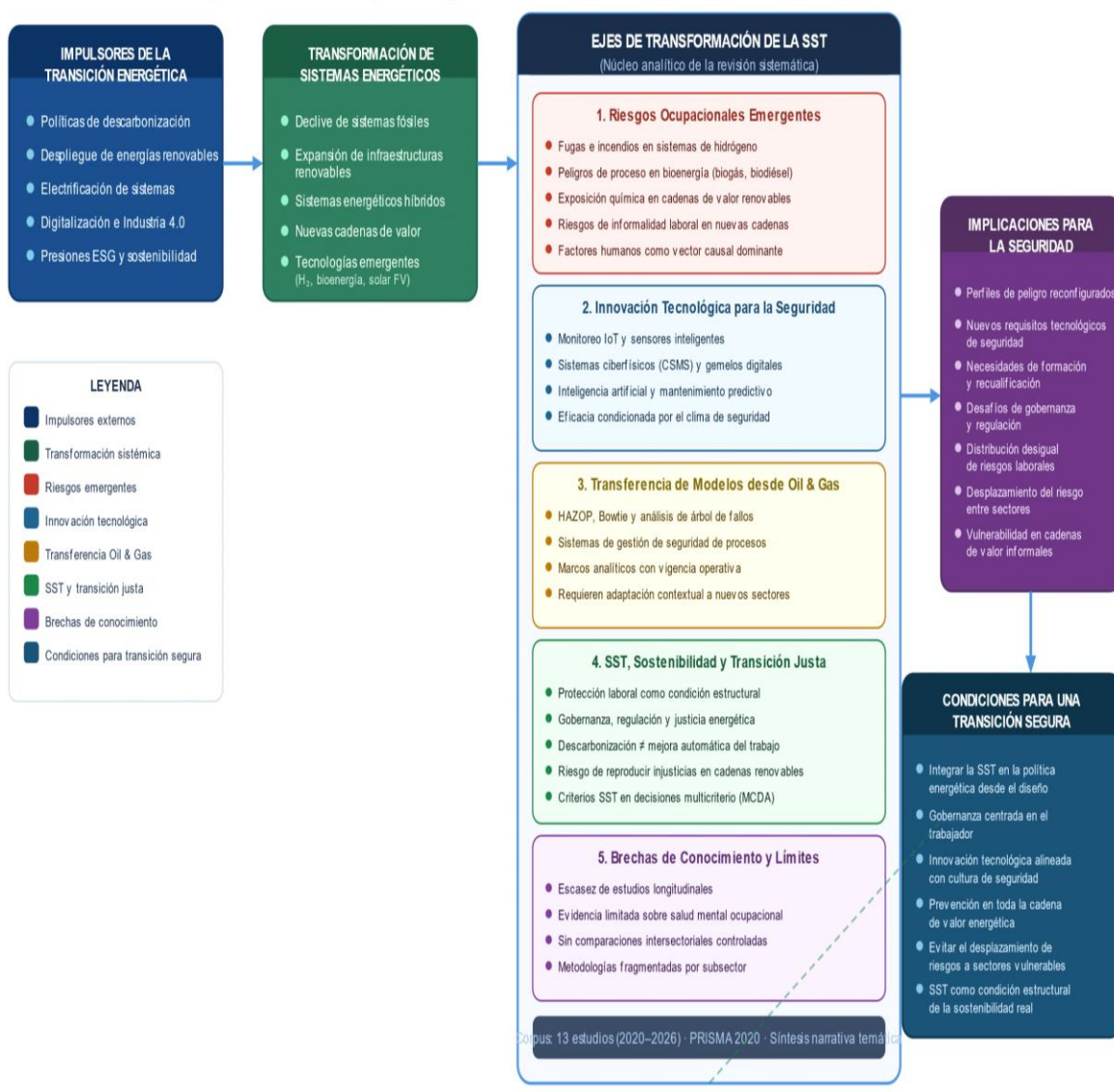
A pesar de la consistencia temática del corpus, persisten vacíos metodológicos y sustantivos relevantes. En términos de diseño, predominan los estudios transversales y de caso único, y solo Guida et al. (2020) aportan un seguimiento temporal extendido —2001 a 2016— en una empresa petrolera brasileña, subrayando la escasez de evidencia longitudinal en el campo. No se identificaron estudios con comparación directa y controlada entre Oil & Gas y energías renovables, lo que limita la capacidad de establecer conclusiones sobre la magnitud del cambio en los perfiles de riesgo entre sectores.

En términos temáticos, el corpus presenta poca cobertura de salud mental ocupacional, ergonomía, reconversión laboral de trabajadores en declive fósil, condiciones de trabajadores subcontratados y dinámicas de informalidad más allá del caso de solar PV. El mapeo completo de hallazgos por estudio se presenta en el anexo 3. La evidencia disponible es suficiente para afirmar que la transición energética transforma los perfiles de riesgo y los modelos de gestión de SST, pero insuficiente para sostener conclusiones universales o cuantitativamente comparables entre contextos.

3.5. Síntesis integradora de los hallazgos

La imagen global que emerge del corpus es la de un campo en transformación activa. La transición energética reconfigura —sin eliminar— los riesgos ocupacionales, desplazando los perfiles de peligro desde los entornos fósiles convencionales hacia tecnologías emergentes con características propias. La innovación tecnológica —IoT, sistemas ciberfísicos, inteligencia artificial— ofrece herramientas de gestión con potencial demostrado, pero cuya efectividad depende del entorno organizacional y cultural en que se despliegan. Las lógicas de seguridad heredadas de industrias maduras como Oil & Gas conservan vigencia analítica y operativa, aunque requieren adaptación para responder a las especificidades de los nuevos sectores. La sostenibilidad de la transición energética no puede dissociarse de la protección laboral: la evidencia muestra que una descarbonización que ignora la SST reproduce o intensifica vulnerabilidades existentes. Persisten, finalmente, brechas empíricas significativas —en diseño longitudinal, comparación intersectorial y cobertura de poblaciones vulnerables— que constituyen una agenda de investigación prioritaria. Estos cinco ejes se articulan en la figura conceptual que se presenta a continuación.





4. Análisis y discusión de los resultados

Esta sección analiza e integra los resultados del corpus con el fin de aportar una visión unificada sobre la evolución de la SST en el cruce de los sectores fósil y renovable.

Aquí se evalúa la convergencia de las evidencias recolectadas, se explican las limitaciones metodológicas de la literatura actual —como la escasez de estudios longitudinales— y se argumenta el valor estratégico de adaptar los sistemas de gestión heredados a las particularidades de las energías limpias, ofreciendo conclusiones teóricas y prácticas para el sector.





4.1. Interpretación de los hallazgos, posicionamiento de la contribución y confrontación con la literatura

Los resultados de esta revisión permiten avanzar más allá de la descripción de los perfiles de riesgo documentados en el corpus. Si los hallazgos muestran que la transición energética reconfigura los riesgos sin eliminarlos, la pregunta interpretativa es: ¿qué determina la dirección de esa reconfiguración? La evidencia sintetizada sugiere que esa dirección es el resultado de tres condiciones simultáneas: las decisiones de diseño organizacional adoptadas durante el proceso de transición, la capacidad de adaptación contextual de los marcos de gestión de seguridad preexistentes y la voluntad institucional de incorporar la SST como condición estructural desde el inicio, y no como externalidad a gestionar una vez que las instalaciones están en operación. Esta tríada constituye la aportación interpretativa central de esta revisión, que va más allá de lo que los datos del corpus permiten afirmar por sí solos.

Esta síntesis representa, además, una contribución de naturaleza distinta a las existentes en el campo. Vitale et al. (2024) identificaron la escasez de estudios sobre riesgos nuevos en empleos verdes; las contribuciones sectoriales previas operan dentro de los límites de una tecnología o un subsector sin articular la pregunta transversal. La presente revisión es la primera que integra sistemáticamente riesgos ocupacionales emergentes, innovaciones en gestión de seguridad y dimensión de sostenibilidad y transición justa en el cruce temático Oil & Gas / energías renovables, respondiendo a esa brecha de síntesis con un corpus empírico explícito.

Desde esa posición, la confrontación con la literatura previa opera en dos movimientos con lógica secuencial. El primero establece que el problema identificado en el corpus es real y documentado: los hallazgos son coherentes con lo advertido por Turner et al. (2025) respecto a la insuficiente atención a la salud ocupacional en la transición verde, y con Pasman et al. (2023) sobre los desafíos cualitativamente nuevos de seguridad de los procesos en tecnologías emergentes. Esta convergencia no es trivial: indica que los estudios incluidos no son atípicos, sino representativos de un patrón más amplio. La explicación de por qué ese patrón persiste remite a una lógica de sistemas sociotécnicos: los riesgos no son propiedades de las tecnologías aisladas, sino propiedades emergentes de la interacción entre tecnología, organización y personas. Esto explica por qué la innovación tecnológica sola no produce mejoras sostenibles en seguridad. Masudin et al. (2024) y Milošević et al. (2025) aportan evidencia directa de que esa mejora solo se materializa cuando el safety climate organizacional es favorable; Li et al. (2025) confirman el argumento por contraste positivo: donde las condiciones organizacionales acompañan la tecnología, los sistemas ciberfísicos sí reducen incidentes de forma efectiva.





El segundo movimiento establece que ese problema documentado está siendo sistemáticamente subestimado. Sovacool y Stock (2024) muestran que la expansión del solar fotovoltaico puede reproducir injusticias laborales estructurales cuando la informalidad y la exposición tóxica no se abordan desde el diseño de las políticas. Varios estudios del corpus tratan la SST como una dimensión periférica o instrumental, lo que contradice la narrativa que asocia automáticamente la descarbonización con mejores condiciones de trabajo. Las Directrices OIT para una Transición Justa (2015/2023) no son, en este contexto, solo un marco normativo: son un imperativo operativo cuyo incumplimiento tiene consecuencias laborales documentadas.

4.2. Implicaciones para la práctica, política e investigación futura

Para las organizaciones energéticas en proceso de transición, la evidencia sobre transferencia de modelos Oil & Gas ofrece un punto de partida técnico e institucional válido, pero no una solución directamente aplicable. Marhaviilas et al. (2025), Yingchun et al. (2021) y Guida et al. (2020) muestran que los marcos analíticos heredados —HAZOP, análisis de árbol de fallos, modelos de gestión de proceso— conservan vigencia operativa.

Sin embargo, su eficacia depende de la capacidad de adaptación contextual, no de la transferencia mecánica. El hallazgo sobre el papel mediador del clima de seguridad (Masudin et al., 2024; Milošević et al., 2025) establece una condición que las organizaciones no pueden eludir: la inversión en tecnología de seguridad sin inversión paralela en cultura organizacional genera una falsa sensación de control. Si los riesgos son propiedades emergentes sistémicas, la respuesta de gestión también debe ser sistémica, integrando dimensión tecnológica y dimensión cultural en una sola estrategia y no en agendas paralelas desconectadas.

Para la política pública y la gobernanza sectorial, la heterogeneidad geográfica del corpus —con presencia significativa del Sur Global y de economías en distintas etapas de transición— señala que las políticas de SST no pueden diseñarse con pretensión de universalidad. Los hallazgos sobre brechas de gobernanza en cadenas de valor renovables (Sovacool y Stock, 2024) y la evidencia de Noshchenko et al. (2025) sobre la viabilidad de integrar la seguridad laboral como criterio explícito en decisiones multicriterio con stakeholders indican que la incorporación de la SST en marcos de reporte de sostenibilidad corporativa y en evaluaciones ESG es un mecanismo de gobernanza con potencial real para hacer visible lo que los sistemas regulatorios nacionales no alcanzan en contextos de transición rápida.





Las brechas identificadas en la sección 3.4.5 —ausencia de diseños longitudinales, escasez de evidencia sobre salud mental ocupacional, trabajadores subcontractados y comparación intersectorial controlada— configuran una agenda de investigación prioritaria que esta revisión delimita con precisión, pero no puede resolver, y que requiere una próxima generación de estudios con mayor potencia metodológica.

4.3. Limitaciones del estudio

Las interpretaciones propuestas en esta discusión son hipótesis plausibles y bien sustentadas en la evidencia disponible, pero deben leerse como conclusiones consistentes con un corpus de rigor metodológico moderado, no como afirmaciones definitivas. Tres limitaciones propias de esta revisión acotan su alcance.

La búsqueda se restringió a tres bases de datos con acceso abierto —IEEE Xplore, ScienceDirect y SciELO—, lo que puede haber excluido estudios relevantes disponibles en bases especializadas en salud ocupacional como PubMed o NIOSHTIC, así como literatura gris producida por organismos reguladores. Esta restricción responde a criterios de factibilidad, pero implica una cobertura parcial del campo. Adicionalmente, el corpus incluye únicamente estudios publicados, lo que introduce un sesgo sistemático hacia hallazgos positivos o estadísticamente significativos; los contextos en que la SST en la transición energética ha presentado resultados negativos o nulos pueden estar subrepresentados. Finalmente, la heterogeneidad del corpus impidió la agregación cuantitativa de resultados. La síntesis narrativa temática adoptada es metodológicamente apropiada para ese perfil, pero introduce un grado de interpretación del investigador que no puede eliminarse completamente y que limita la replicabilidad exacta del proceso de síntesis.

Conclusiones

La evidencia sintetizada en esta revisión permite afirmar que la SST en el sector energético está experimentando una transformación estructural cuya característica definitoria no es la desaparición de los riesgos laborales, sino su reconfiguración en función de las tecnologías involucradas y, sobre todo, de las decisiones de diseño organizacional, de la capacidad de adaptación contextual de los marcos de gestión preexistentes y de la voluntad institucional de incorporar la protección laboral como condición estructural del proceso de transición y no como una externalidad a gestionar una vez que las instalaciones están en operación.





Los tres objetivos específicos de esta revisión fueron cumplidos con evidencia directa. En relación con la identificación de riesgos ocupacionales emergentes, el corpus documentó perfiles diferenciados por tecnología: biohazards, explosiones y riesgos mecánicos en biogás y biodiésel, factores humanos como vector causal dominante en sistemas de hidrógeno y exposición a sustancias tóxicas en condiciones de informalidad y precariedad laboral en cadenas de valor del solar fotovoltaico. La evidencia confirma que cada subsector de la transición energética presenta un perfil de riesgo propio que no puede gestionarse con respuestas uniformes.

En relación con la documentación de innovaciones tecnológicas y organizacionales para la gestión de la seguridad laboral, los sistemas ciberfísicos, IoT y digital twins demostraron potencial efectivo de reducción de incidentes en entornos de hidrógeno y petroquímica. Sin embargo, el hallazgo central de este objetivo no es tecnológico sino organizacional: esa efectividad está condicionada por el clima de seguridad institucional, sin el cual la innovación tecnológica no se traduce en mejoras sostenibles de seguridad (Masudin et al., 2024; Milošević et al., 2025).

En relación con la integración de SST y sostenibilidad en el marco de la transición energética, la evidencia establece que la descarbonización no mejora automáticamente las condiciones laborales y que dicha integración es operativizable cuando se incorpora como criterio explícito en los procesos de decisión sectorial. La SST es, en este sentido, una condición estructural de una transición genuinamente sostenible, no una dimensión periférica ni instrumental.

Esta revisión constituye una síntesis sistemática que articula riesgos ocupacionales emergentes, innovaciones en gestión de seguridad y dimensión de transición justa en el cruce temático Oil & Gas / energías renovables, respondiendo a una brecha de síntesis que la literatura había generado como consecuencia de su propio desarrollo fragmentado. Como resultado de esa articulación, los investigadores disponen de una base evidencial estructurada para diseñar estudios de siguiente generación con mayor potencia metodológica; los profesionales y tomadores de decisiones disponen de un mapa de condiciones críticas —tecnológicas, organizacionales y de gobernanza— para gestionar la transición energética con criterios de SST explícitos e integrados.





Referencias

- Agencia Internacional de Energía. (2023). *World Energy Employment 2023*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-employment-2023>
- Arana-Landín, G., Laskurain-Iturbe, I., Iturrate, M., & Landeta-Manzano, B. (2023). Assessing the influence of industry 4.0 technologies on occupational health and safety. *Heliyon*, 9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13720>
- Guida, H. F. S., Figueiredo, M. G., & Hennington, É. A. (2020). Perfil dos acidentes de trabalho fatais em empresa de petróleo no período de 2001 a 2016. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, 45, e31. <https://doi.org/10.1590/2317-6369000044718>
- Hegazy, H., Saady, N. M. C., & Zendejboudi, S. (2025). Safety in biogas plants: An analysis based on international standards and best practices. *Process Safety and Environmental Protection*, 200, 107390. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2025.107390>
- International Renewable Energy Agency & International Labour Organization. (2024). *Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2024* (Nos. 978-92-9260-627-5). International Renewable Energy Agency. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/Oct/IRENA_Renewable_energy_and_jobs_2024.pdf
- Khan, F., Alsaduni, I., Khan, O., & Parvez, M. (2025). Enhancing safety and risk management in biodiesel production: A machine learning approach using k-means clustering to address operational challenges and standardization issues. *Results in Engineering*, 26, 105175. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105175>
- Li, H., Yazdi, M., Adumene, S., & Goleiji, E. (2025). Integrating safety management systems in hydrogen production facilities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 128, 345-358. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.04.196>
- Lindholm, M., Reiman, A., & Tappura, S. (2024). The evolution of new and emerging occupational health and safety risks: A qualitative review. *Work*, 79(2), 503-521. <https://doi.org/10.3233/WOR-230005>
- Marhavilas, P. K., Delianidis, N., Koulinas, G., & Boustras, G. (2025). Safety assessment by amalgamating MCDM/AHP, HAZOP, Decision Risk-Matrices' Analysis, and FTA, Through a safety's color-Mapping visualization – Application to Industrial and Technological Systems. *Safety Science*, 191, 106941. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2025.106941>
- Mashaba, T., & Mathaba, T. N. D. (2025). Evaluating the impact of integrating fourth industrial revolution (4IR) technologies in maintenance of pressure vessels and pipelines in the petrochemical industry. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 5(4), 100283. <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2025.100283>
- Masudin, I., Tsamarah, N., Restuputri, D. P., Trireksani, T., & Djajadikerta, H. G. (2024). The impact of safety climate on human-technology interaction and sustainable development: Evidence from Indonesian oil and gas industry. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140211. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140211>
- Milošević, I., Stojanović, A., Nikolić, Đ., Mihajlović, I., Brkić, A., Perišić, M., & Spasojević-Brkić, V. (2025). Occupational health and safety performance in a changing mining environment: Identification of critical factors. *Safety Science*, 184, 106745. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106745>





- Noshchenko, O., Hagspiel, V., & Deshpande, P. C. (2025). Assessing the sustainability of offshore platform power supply alternatives using Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): A case study of Norway. *Science of The Total Environment*, 973, 179053. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179053>
- Nunoo, E. K., Lockner, E., Afrifa, E. A., Essandoh-Yeddu, J., Twum, E., Essien, B., Nyametso, J., Oteng, C., Asafo, J., Amankwa, E., & Kwabena, P. (2026). Safety preparedness in the oil and gas industry: A psychological assessment of factors affecting employee intentions and behaviors toward emergency response. *Progress in Disaster Science*, 29, 100534. <https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2026.100534>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71.
- Pasman, H. J., Sripaul, E., Khan, F., & Fabiano, B. (2023). Energy transition technology comes with new process safety challenges and risks. *Process Safety and Environmental Protection*, 177, 765-794. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.07.036>
- Popay, J., Roberts, H., Sowden, A., Petticrew, M., Arai, L., Rodgers, M., ... & Duffy, S. (2006). *Guidance on the conduct of narrative synthesis in systematic reviews*. ESRC Methods Programme.
- Page, M.J. et al. (2021) The PRISMA 2020 statement.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339.
- Sovacool, B. K., & Stock, R. (2024). “We struggle to survive”: Exploring the whole systems energy injustices of solar photovoltaics in India. *The Electricity Journal*, 37(6), 107426. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2024.107426>
- Thomas, J., & Harden, A. (2008). Methods for the thematic synthesis of qualitative research in systematic reviews. *BMC Medical Research Methodology*, 8(1), 45. <https://doi.org/10.1186/1471-2288-8-45>
- Turner, M. C., Basagaña, X., Albin, M., Broberg, K., Burdorf, A., van Daalen, K. R., Guseva Canu, I., Kolstad, H. A., Kogevinas, M., Lowe, R., Pearce, N., Pega, F., Saget, C., Schubauer-Berigan, M. K., Svensson, S., Vineis, P., & Straif, K. (2025). Occupational health in the era of climate change and the green transition: A call for research. *The Lancet Regional Health - Europe*, 54(101353). <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2025.101353>
- Vitale, E., Salvago, P., Campanella, A. F., & Cirrincione, L. (2024). Emerging occupational risks in green jobs: A review. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 37(3), 244-256. <https://doi.org/10.13075/ijomeh.1896.02396>
- Wen, J. X., Marono, M., Moretto, P., Reinecke, E.-A., Sathiah, P., Studer, E., Vyazmina, E., & Melideo, D. (2022). Statistics, lessons learned and recommendations from analysis of HIAD 2.0 database. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47(38), 17082-17096. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.03.170>
- Yingchun, X., Guoping, C., Chunyun, L., Guosen, M., & Liangyan, L. (2021). Design and applications of anti-management model in China's primary refineries. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 14(1), 302-313. <https://doi.org/10.1080/16878507.2021.1964276>



Declaración de conflicto de interés y originalidad

Conforme a lo estipulado en el *Código de ética y buenas prácticas* publicado en **PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía**, los autores **León Estrada, Fernando Tomas; Medina Cazador, Antonio José y Montes de Oca Andrade, Julio César**, declaran al Comité Editorial que no tienen situaciones que representen conflicto de interés real, potencial o evidente, de carácter académico, financiero, intelectual o con derechos de propiedad intelectual relacionados con el contenido del artículo: **Seguridad y salud en el trabajo: innovación y sostenibilidad en la transición energética**, en relación con su publicación. De igual manera, declaran que el trabajo es original, no ha sido publicado parcial ni totalmente en otro medio de difusión, no se utilizaron ideas, formulaciones, citas o ilustraciones diversas, extraídas de distintas fuentes, sin mencionar de forma clara y estricta su origen y sin ser referenciadas debidamente en la bibliografía correspondiente. Consienten que el Comité Editorial aplique cualquier sistema de detección de plagio para verificar su originalidad.

Los autores declaran que, en la preparación de este manuscrito, no utilizó herramientas de inteligencia artificial generativa para la redacción de textos o interpretación de datos.

Para citar este artículo:

León, T; Medina, A. y Montes de Oca, J. (2026). Seguridad y salud en el trabajo: innovación y sostenibilidad en la transición energética. *PetroRenova Indexed, Revista Científica de la Energía*. Vol. 2, núm. 3(44-69), julio-septiembre, 2026. <https://doi.org/10.5281/zenodo.21810492>





Anexo 1

Características generales de los estudios incluido

Autor/Año	País/Región	Diseño del estudio	Unidad analítica real	Población laboral implicada	Sector energético	Tecnología / proceso analizado	Riesgo SST principal	Innovación / gestión reportada	Transición energética	Sostenibilidad / gobernanza	Variables / outcomes	Periodo / seguimiento	Contexto
Hegazy et al., 2025	Internacional / Canadá	Análisis documental + incidentes	Incidentes + documentos normativos	Operadores de plantas de biogás	Bioenergía	Plantas de biogás	Biohazards, explosiones, riesgos eléctricos y mecánicos	Bowtie, Fishbone, jerarquía de control, estándares ATEX/ISO	Explícita	Si	Frecuencia de incidentes, controles, causas	1990–2023	Operación de plantas de biogás
Khan et al., 2025	India / Arabia Saudita	Evaluación de riesgos aplicada + ML	Instalaciones/procesos	Operadores de planta biodiésel	Bioenergía	Producción industrial de biodiésel	Incendios, fugas químicas, derrames, error humano	Bowtie + clustering ML, monitoreo automatizado	Explícita	Si	Probabilidad de incidentes, risk scores	NR	Planta industrial
Li et al., 2025	Australia / Reino Unido	Casos múltiples + análisis cuantitativo	Instalaciones de hidrógeno	Personal de planta / safety managers	Hidrógeno	Producción de hidrógeno	Fugas, inflamabilidad, presión	CSMS, IoT, digital twins	Explícita	Si	Incidentes, compliance, respuesta operativa	NR	Instalaciones energéticas
Marhavilas et al., 2025	Grecia / Chipre	Caso aplicado con modelización de riesgos	Instalación/nodos de riesgo	Trabajadores de estación gas	Gas natural	Estación M&RS	Gases tóxicos e inflamables	HAZOP + DRIMA + AHP + FTA	Contextual	Indirecta	Ranking de riesgos	NR	Sistema urbano transporte gas
Machaba & Mathaba, 2025	Sudáfrica	MCDM multicriterio	Tecnologías 4IR	Ingenieros / inspectores	Petroquímica	Smart sensors, IoT, AI	Integridad de equipos	IoT, robots, mantenimiento predictivo	Indirecta	Si	Rankings TOPSIS	2020–2024 literatura	Petroquímica
Masudin et al., 2024	Indonesia	Encuesta + entrevistas (PLS-SEM/FsQCA)	Trabajadores	Empleados upstream O&G	Oil & Gas	IoT, CPS	Interacción humano-tecnología	HTI + safety climate	Indirecta	Si	Path coefficients	NR	Upstream Oil & Gas
Milošević et al., 2025	Serbia	Encuesta + SEM	Trabajadores	Operadores maquinaria minera	Minería energética	Equipos mineros	Fatiga, ambiente, conducta	Modelos SEM de desempeño SST	Contextual	Indirecta	Factores SST	2023–2024	Proyecto SmartMiner
Noshchenko et al., 2025	Noruega	MCDMA/MAVT + encuesta	Alternativas energéticas + stakeholders	Seguridad laboral como criterio social	Offshore Oil & Gas	Electrificación offshore	Seguridad laboral indirecta	MCDa sostenibilidad	Explícita	Si	Evaluación multicriterio	NR	Plataforma offshore
Nunoo et al., 2026	Ghana	Encuesta + PLS-SEM	Trabajadores	Empleados planta gas	Oil & Gas	Preparación emergencias	Explosiones, derrames	Modelo TPB extendido	Contextual	Si	Conducta de preparación	2024	Atuabo Gas Plant
Sovacool & Stock, 2024	India	Métodos mixtos	Trabajadores y comunidades	Mineros, recicladores, laborers	Solar PV	Cadena de valor PV	Exposición tóxica, precariedad laboral	Enfoque whole-systems	Explícita	Si	Percepciones laborales	2021–2022	Ciclo de vida PV
Wen et al., 2022	Multirregional	Base de datos incidentes	Incidentes/eventos	Personal de planta	Hidrógeno	Sistemas de hidrógeno	Explosiones, fugas	HIAD database	Explícita	Indirecta	Tipo evento y causas	Hasta 2021	Base internacional
Yingchun et al., 2021	China	Caso aplicado pre-post	Instalación/refinería	Operarios y managers	Oil & Gas	Refinería	Riesgos de proceso	Modelo anti-management	Contextual	Indirecta	Safety scores	6 meses	Refinería
Guida et al., 2020	Brasil	Epidemiológico documental	Fatalidades ocupacionales	Trabajadores O&G	Oil & Gas	Exploración, refino	Explosiones, caídas, electricidad	Vigilancia SST	No	Si	Mortalidad ocupacional	2001–2016	Empresa petrolera



Anexo 2

Evaluación de calidad metodológica / riesgo de sesgo

Autor/Año	Diseño	Tipo de evidencia	Herramienta de appraisal	Unidad analítica	Juicio global	Principales limitaciones	Aplicabilidad
Hegazy 2025	Análisis documental + incidentes	Documental/registrar	Appraisal adaptado registros incidentes	Incidentes	Rigor moderado	Dependencia fuentes secundarias; subregistro	Alta para SST renovables
Khan 2025	Evaluación de riesgos + ML	Modelización aplicada	Appraisal modelización ingeniería	Instalaciones	Rigor moderado	Datos operativos limitados	Alta para bioenergía
Li 2025	Casos múltiples	Empírica indirecta	MMAT	Instalaciones	Rigor moderado	Dataset limitado	Alta para hidrógeno
Marhaviias 2025	Modelización híbrida	Modelización aplicada	Appraisal ingeniería riesgo	Instalación	Moderado	Caso único	Media
Mashaba 2025	MCDM	Decisión multicriterio	Appraisal MCDM	Tecnologías	Moderado	n expertos NR	Media
Masudin 2024	Encuesta + SEM	Empírica directa	JBICross-sectional	Trabajadores	Moderado	Diseño transversal	Alta
Milošević 2025	Encuesta + SEM	Empírica directa	JBICross-sectional	Trabajadores	Moderado	N limitado	Media
Noshchenko 2025	MCDA	Decisión multicriterio	Appraisal MCDA	Alternativas energéticas	Moderado	Evidencia indirecta	Media
Nunoo 2026	Encuesta + SEM	Empírica directa	JBICross-sectional	Trabajadores	Moderado	Una planta	Alta
Sovacool 2024	Métodos mixtos	Empírica directa	MMAT	Trabajadores	Moderado	Generalización limitada	Alta
Wen 2022	Base incidentes	Documental/registrar	Appraisal registros	Incidentes	Moderado	Subregistro	Alta
Yingchun 2021	Caso pre-post	Caso aplicado	JBICase	Instalación	Moderado-bajo	Sin control	Media
Guida 2020	Epidemiológico documental	Documental/registrar	JBICadaptado	Fatalidades	Moderado	Datos corporativos	Alta





Anexo 3

Síntesis narrativa estructurada + mapeo temático

Autor/Año	Diseño	Tipo de evidencia	Foco central	Problema SST	Hallazgo principal	Dirección del aporte	Dominio principal	Dominios secundarios	Evidencia útil	Incidentes reportados	Calidad
Hegazy 2025	Documental + incidentes	Directa	Seguridad biogás	Biohazards y explosiones	Identifica patrones y controles	Favorece	SST	Transición, gobernanza	Sí	75 incidentes	Moderada
Khan 2025	Modelización aplicada	Directa	SST bioenergía	Incendios y químicos	Automatización reduce riesgo	Favorece	SST	Innovación	Sí	Derrames y fallas	Moderada
Li 2025	Casos múltiples	Directa	Seguridad hidrógeno	Fugas y presión	CSMS reduce incidentes	Favorece	Innovación	SST, transición	Sí	Reducción incidentes	Moderada
Marhaviías 2025	Modelización	Indirecta	Riesgos gas natural	Desviaciones operativas	Prioriza riesgos	Parcial	SST	Tecnología	Sí	Potenciales liberaciones	Moderada
Mashaba 2025	MCDM	Indirecta	Tecnologías 4IR	Integridad equipos	IoT mejora seguridad	Favorece	Innovación	SST, sostenibilidad	Sí	Prevención fugas	Moderada
Masudin 2024	Encuesta	Directa	Safety climate	Interacción humano-tecnología	Safety climate modera HTI	Favorece	SST	Innovación, sostenibilidad	Sí	Accidentes potenciales	Moderada
Milošević 2025	Encuesta	Directa	Clima SST minería	Fatiga y ambiente	Clima influye en desempeño	Favorece	SST	Organización	Sí	Accidentes y enfermedades	Moderada
Noshchenko 2025	MCDA	Contextual	Electrificación offshore	Seguridad laboral indirecta	Electrificación preferible	Parcial	Transición	Sostenibilidad	Sí	NR	Moderada
Nunoo 2026	Encuesta	Directa	Preparación emergencias	Derrames/explosiones	Factores psicológicos predicen conducta	Favorece	SST	Gobernanza	Sí	Emergencias industriales	Moderada
Sovacool 2024	Métodos mixtos	Directa	Injusticias laborales PV	Exposición tóxica	Transición solar produce injusticias	Favorece	SST	Transición, gobernanza	Sí	Lesiones laborales	Moderada
Wen 2022	Base incidentes	Directa	Seguridad hidrógeno	Explosiones	Factores humanos dominan eventos	Favorece	SST	Transición	Sí	706 incidentes	Moderada
Yingchun 2021	Caso aplicado	Indirecta	Gestión seguridad refinería	Riesgos de proceso	Mejora puntuación seguridad	Favorece	SST	Gestión	Sí	Riesgo accidente	Moderada-baja
Guida 2020	Epidemiológico	Directa	Fatalidades Oil & Gas	Explosiones y caídas	Alta mortalidad offshore	Favorece	SST	Gobernanza	Sí	222 fatalidades	Moderada

