e-REVISTA MULTIDISCIPLINARIA DEL SABER
ISSN: 2960-2467

https://doi.org/10.61286/e-rms.v4i.534

Artículo Original

BPESP como herramienta de decisión ergonómica: evaluación híbrida, controles de ingeniería y análisis económico proyectado en estación de empaque manual

BPESP as an ergonomic decision-making tool: hybrid assessment, engineering controls, and prospective economic analysis in a manual packaging workstation

Felipe, Larez[1]; Yéssika, Maribao[2]

(1) Carlisle Construction Materials, Carlisle, EE UU.

(2) Centro de Investigación Anglo Latín Culture 369, Florida, EE UU.

Resumen

Introducción. La evaluación ergonómica adquiere valor preventivo cuando sus resultados se traducen en decisiones de control técnicamente justificadas, documentadas y económicamente evaluables. Objetivo. Analizar la aplicación del Business Plan Ergonomic Safety Program en una estación manual de empaque del sector manufacturero, desde la identificación cuantitativa del riesgo hasta la implementación de controles de ingeniería y su evaluación económica *ex ante*, e identificar sus implicaciones preventivas, productivas y jurídicas. Se realizó un estudio de caso aplicado, técnico-documental. La evaluación de línea base combinó inspección de la tarea, Rapid Entire Body Assessment, la Ecuación Revisada de Levantamiento de NIOSH, modelado biomecánico y análisis postural asistido por inteligencia artificial. El seguimiento posimplementación fue descriptivo. El análisis económico utilizó un punto de equilibrio adaptado y el análisis jurídico examinó el deber preventivo, la evidencia de diligencia y mecanismos de protección social aplicables. Resultados. La tarea inicial implicaba levantar cajas de 65 libras 1.040 veces por turno, con una carga acumulada aproximada de 31,2 toneladas métricas. La evaluación identificó riesgo ergonómico alto y sustentó la mecanización mediante transportadores, asistencia por vacío y paletización mecanizada. La inversión documentada fue de USD 130.045; el análisis de punto de equilibrio indicó que esta inversión equivalía al costo directo promedio de aproximadamente 4,06 reclamaciones por distensión laboral según la referencia utilizada. **Conclusión.** BPESP puede articular evaluación, ingeniería, seguimiento y decisión económica, además de generar trazabilidad útil para la diligencia preventiva, aunque la ausencia de una reevaluación cuantitativa posintervención limita la estimación del riesgo residual.

Palabras clave: ergonomía; seguridad en el trabajo; inteligencia artificial; productividad; prevención de riesgos.

Abstract

*Introduction. Ergonomic assessment has preventive value when its findings are translated into technically justified, documented, and economically assessable control decisions**.** Objective. To analyze the application of the Business Plan Ergonomic Safety Program in a manual packaging workstation in the manufacturing sector, from quantitative risk identification to the implementation of engineering controls and their ex ante economic assessment, and to identify its preventive, productivity-related, and legal implications. An applied, technical-documentary case study was conducted. The baseline assessment combined task inspection, Rapid Entire Body Assessment, the Revised NIOSH Lifting Equation, biomechanical modeling, and artificial intelligence-assisted postural analysis. Post-implementation follow-up was descriptive. The economic analysis used an adapted break-even approach, while the legal analysis examined the preventive duty, evidence of due diligence, and applicable social protection mechanisms**.** Results. The original task involved lifting 65-pound boxes 1,040 times per shift, representing an accumulated load of approximately 31.2 metric tons. The assessment identified high ergonomic risk and supported mechanization through conveyors, vacuum-assisted handling, and mechanized palletizing. The documented capital investment was USD 130,045; its break-even point was equivalent to approximately 4.06 average occupational strain claims based on the direct-cost reference used. **Conclusion.** BPESP can integrate ergonomic assessment, engineering, follow-up, and economic decision-making while also generating traceability relevant to preventive due diligence, although the absence of a quantitative post-intervention reassessment limits estimation of residual risk.*

Keywords: *ergonomics; occupational safety; artificial intelligence; productivity; risk prevention.*

Recibido/Received	01-08-2026	Aprobado/Approved	29-10-2026	Publicado/Published	30-10-2026

CC BY NC SA

Introducción

Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo (TME) constituyen un problema persistente de salud ocupacional y de gestión productiva. La exposición a manipulación manual de cargas, posturas forzadas, movimientos repetitivos, fuerza y duración puede incrementar el riesgo de molestias y lesiones, especialmente cuando varios factores coexisten durante una misma tarea (Hulshof et al., 2021; National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 1997). La respuesta preventiva, por tanto, no debería limitarse a identificar el peligro: requiere una secuencia verificable de evaluación, priorización, selección de controles, implementación y seguimiento.

En trabajos previos, Larez y Maribao (2025a) propusieron un enfoque híbrido para la evaluación ergonómica que integra herramientas asistidas por inteligencia artificial con métodos tradicionales y validación profesional. Este enfoque busca aprovechar la rapidez y objetividad de la visión computacional sin sustituir el juicio del ergonomista ni la legitimidad técnica de métodos consolidados como REBA y la Ecuación Revisada de NIOSH. La propuesta es consistente con estudios sobre detección automatizada y captura de movimiento que destacan la utilidad de estas tecnologías para ampliar la continuidad de la medición, a la vez que subrayan la necesidad de mantener validación metodológica y supervisión experta (Camargo Salinas et al., 2024; Yunus et al., 2021). En un segundo artículo, los autores desarrollaron el BPESP como una metodología de gestión más amplia, orientada a cerrar la brecha entre identificación del riesgo, participación organizacional, planificación preventiva, evidencia técnica y cumplimiento jurídico (Larez & Maribao, 2025b).

La tercera entrega de la serie se concentra en una pregunta distinta: ¿qué ocurre después de identificar y cuantificar un riesgo elevado? En entornos industriales, la respuesta puede requerir controles de ingeniería capaces de modificar físicamente la interacción trabajador-tarea, reducir la exposición a la fuerza o eliminar levantamientos manuales. La literatura señala que la eficacia de las intervenciones ergonómicas depende de la pertinencia del control, su implementación y la medición posterior de resultados (Bazaluk et al., 2023; Danylak et al., 2024).

El presente estudio utiliza un caso real de una estación manual de empaque en una planta manufacturera de Texas para analizar la trazabilidad de la decisión: preocupación operativa, evaluación cuantitativa, identificación de factores contribuyentes, recomendación de controles, desarrollo de ingeniería, puesta en marcha y análisis económico ex ante. La identidad empresarial se mantiene anonimizada por razones de confidencialidad. El propósito no es atribuir al caso resultados que no hayan sido medidos, sino distinguir con rigor entre evidencia observada, implementación documentada, seguimiento descriptivo y resultados cuantitativos pendientes.

A partir de este contexto, el estudio se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede una metodología integral de gestión ergonómica transformar la identificación de un riesgo elevado de manipulación manual de cargas en una intervención de ingeniería técnicamente sustentada y económicamente evaluable? El objetivo general es analizar la aplicación del BPESP en una estación manual de empaque, documentando la transición desde la evaluación híbrida del riesgo hasta la selección e implementación de controles de ingeniería y su evaluación económica ex ante, e identificar sus implicaciones preventivas, productivas y jurídicas.

Esta tercera entrega no redefine retroactivamente las fases publicadas del BPESP. Se concentra en los componentes operativos que conectan la evaluación cuantitativa con la selección de controles, la justificación técnico-económica y el seguimiento. La IA se ubica como instrumento de medición y apoyo; no constituye por sí misma un control de ingeniería. El control de ingeniería es la modificación física de la estación, del equipo o de la interacción trabajador-carga.

La lógica operativa puede resumirse en seis movimientos encadenados: participación y alerta temprana; evaluación híbrida; priorización; diseño e implementación de ingeniería; evaluación económica ex ante; y seguimiento con mejora continua. La secuencia pretende transformar la ergonomía de una práctica reactiva en un sistema de decisión documentado y susceptible de auditoría.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio de caso aplicado, técnico-documental, con reconstrucción cronológica de una intervención ergonómica. La unidad de análisis fue la secuencia de decisión preventiva asociada a una tarea de paletización manual de cajas pesadas en una planta manufacturera de Texas, Estados Unidos. Se utilizaron documentos técnicos internos de 2025, evidencia fotográfica posimplementación y literatura científica y normativa como marco interpretativo. No se utilizaron historias clínicas individuales ni datos de salud identificables.

Fuentes documentales y cronología

La reconstrucción cronológica integró cinco hitos: evaluación cuantitativa de línea base (20 de marzo de 2025); formalización del alcance del rediseño (7 de julio de 2025); propuesta técnica de ingeniería (julio de 2025); puesta en marcha del sistema (enero de 2026); y seguimiento operativo descriptivo entre enero y agosto de 2026. La documentación interna se mantiene anonimizada.

Evaluación ergonómica

La evaluación de línea base combinó cuatro componentes: (1) inspección de la tarea y registro de variables físicas; (2) puntuación postural REBA; (3) aplicación de la Ecuación Revisada de NIOSH para levantamiento manual; y (4) modelado biomecánico y análisis postural asistido por IA. REBA permite clasificar la exposición postural y la necesidad de intervención (Hignett & McAtamney, 2000), mientras que la Ecuación Revisada de NIOSH integra variables de carga, geometría, frecuencia, duración y acoplamiento para estimar un límite recomendado e índice de levantamiento (Waters et al., 1993).

El enfoque híbrido mantiene la validación profesional como elemento final. La IA se utiliza para apoyar el registro de ángulos, posturas y patrones de movimiento; no se interpreta como sustituto de REBA, NIOSH ni del juicio técnico del ergonomista (Chatzis et al., 2022; Larez & Maribao, 2025a; Scataglini et al., 2025).

Seguimiento posimplementación

El seguimiento posterior a la puesta en marcha fue descriptivo. Se utilizaron fotografías de la estación ya modificada y el reporte operativo del responsable técnico. Se registró la presencia de transportadores, asistencia por vacío y sistema de paletización, y se documentó cualitativamente la ausencia reportada de incidentes y absentismo asociados a la tarea, así como la ausencia de quejas de molestias o fatiga durante el período inicial de seguimiento. Estos datos no se consideran equivalentes a una reevaluación cuantitativa del riesgo residual.

Análisis económico ex ante

El punto de equilibrio en eventos equivalentes se estimó mediante una adaptación del análisis convencional de punto de equilibrio (*break-even analysis*). En contabilidad gerencial, el punto de equilibrio en unidades se obtiene dividiendo los costos fijos entre el margen de contribución por unidad (Franklin et al., 2019). A partir de este principio, los autores adaptaron el cálculo al contexto preventivo para expresar cuántos costos directos promedio de reclamaciones laborales serían económicamente equivalentes a la inversión inicial en controles de ingeniería.

$$QBE = I / Cd$$

Donde **QBE** representa el número de reclamaciones equivalentes en el punto de equilibrio, **I** la inversión de capital documentada y **Cd** el costo directo promedio de una reclamación utilizado como referencia. Esta fórmula constituye una adaptación analítica de los autores y no una fórmula desarrollada por OSHA. OSHA Safety Pays se utilizó exclusivamente como fuente del costo directo promedio de referencia.

Criterios jurídicos

El análisis jurídico se limitó a la relación entre deber preventivo, ergonomía, documentación de controles, diligencia preventiva y mecanismos de protección social. Se revisaron la *General Duty Clause* de

la *Occupational Safety and Health Act*; los efectos de la *Congressional Review Act* sobre el estándar federal de ergonomía de 2000; el *Field Operations Manual* y la política de OSHA sobre peligros ergonómicos; la decisión de la *Occupational Safety and Health Review Commission* en *Pepperidge Farm*; las disposiciones del *Texas Labor Code* sobre *workers' compensation*; y los mecanismos de coordinación entre SSDI y determinadas prestaciones de *workers' compensation* o discapacidad pública. Este marco se utilizó para interpretar la función preventiva de BPESP y el valor de la trazabilidad documental; no constituye una determinación de cumplimiento normativo o responsabilidad legal, ni convierte el análisis económico en un estándar jurídico obligatorio.

Resultados

Caracterización de la tarea y exposición

La evaluación de marzo de 2025 documentó una tarea de paletización manual en la que el operador manipulaba cajas de aproximadamente 65 lb (30 kg) (Tabla 1). Para completar un pallet se requerían 20 cajas y la meta de producción era de 52 pallets por turno, equivalente a 1.040 levantamientos. La frecuencia aproximada era de dos levantamientos por minuto y el peso acumulado manipulado se estimó en 31.200 kg por turno, aproximadamente 31,2 toneladas métricas.

Tabla 1. *Caracterización de la exposición y evaluación ergonómica multimétodo de línea base*

Indicador	Resultado documentado	Lectura técnica
Peso por caja	65 lb (≈30 kg)	Carga individual elevada en una tarea repetitiva.
Cajas por pallet	20	Define unidad de producción y repetición.
Pallets por turno	52	Meta operativa documentada.
Levantamientos por turno	1.040	Exposición repetitiva y acumulativa.
Frecuencia	≈2 levantamientos/minuto	Variable relevante para NIOSH y carga acumulada.
Carga acumulada	≈31,2 t métricas/turno	Magnitud operativa de la manipulación manual.
Altura de destino inicial	≈5 pulgadas sobre el piso	Favorece flexión profunda en capas inferiores.
REBA	≈8	Nivel alto en la evaluación de línea base; requiere acción.
Índice NIOSH	>3	Exposición por encima del nivel recomendado en la evaluación interna.
Evaluación interna por segmentos	Espalda 8; hombro 8; piernas 8; mano/muñeca 6; codo y cuello 4	Prioriza espalda, hombros y piernas.
Modelo biomecánico	45° de tronco; 60° de rodilla; carga de 65 lb	Identifica sobrecarga en región lumbar, cadera y tobillos.
Modelado postural asistido por inteligencia artificial	Muy alto en niveles 1-3; bajo/moderado desde nivel 4	Localiza la exposición crítica en capas inferiores.

Hallazgos biomecánicos y de modelado postural

La evaluación identificó flexión del tronco, flexión de rodillas, aducción de hombros y manipulación de la carga desde un transportador hacia pallets ubicados a baja altura. El modelo biomecánico documentó una postura de espalda cercana a 45° y flexión de rodilla cercana a 60° durante un levantamiento de 65 lb, con estimación de riesgo elevado para región lumbar, cadera y tobillos. El modelado postural asistido por IA clasificó como muy altos los niveles de riesgo en piernas, espalda y brazos cuando la colocación se realizaba en los niveles de destino 1 a 3; a partir de niveles superiores la exposición disminuía a categorías bajas o moderadas (Figura 1).

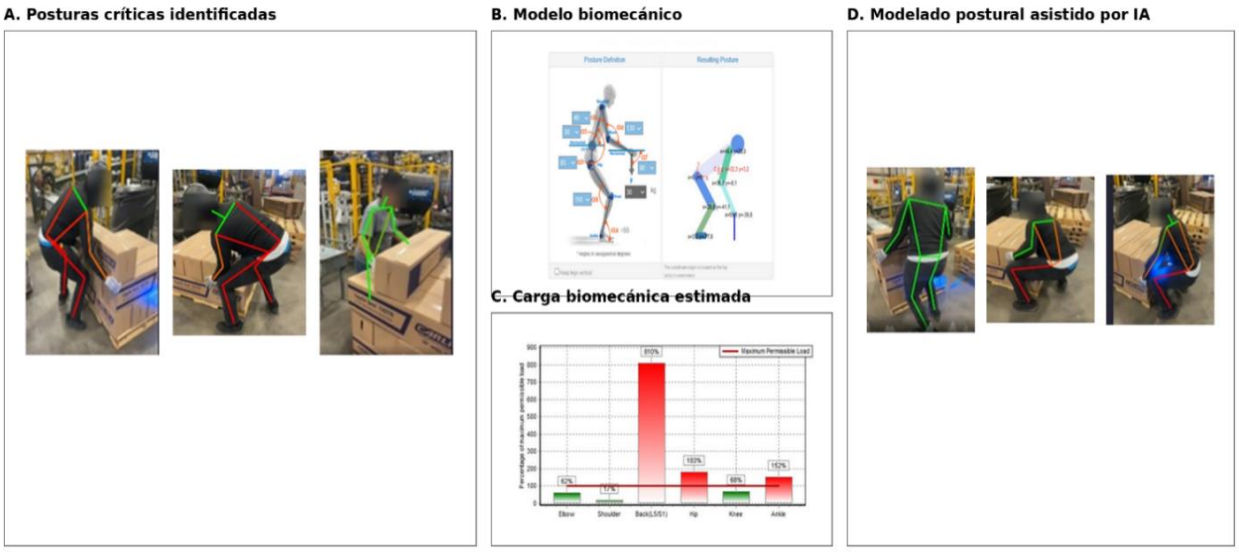


Figura 1. *Evidencia de línea base: posturas críticas, modelado biomecánico y análisis postural asistido por IA. Fuente: evaluación ergonómica interna, marzo de 2025; reproducida en forma anonimizada*

Del diagnóstico al control de ingeniería

La evaluación interna concluyó que la combinación de una carga individual superior a 50 lb y una carga acumulada superior a 30 toneladas por turno justificaba un control de ingeniería. Entre las recomendaciones se incluyeron dispositivos de asistencia al levantamiento, control de la altura de destino, modificación del layout y rotación formal de trabajadores como medida administrativa complementaria. La lógica del control fue disminuir la necesidad de levantar manualmente y reducir la flexión profunda en las capas inferiores del pallet.

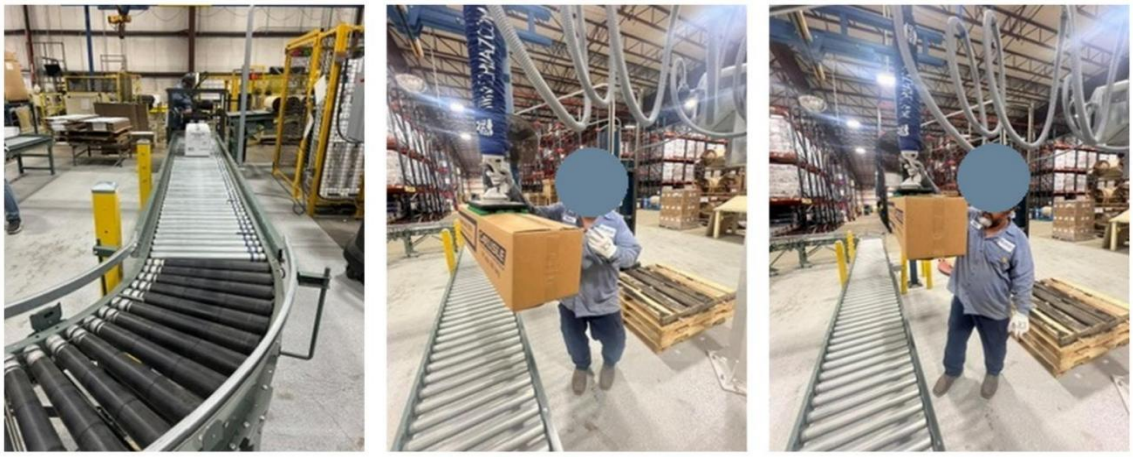
El proyecto posterior desarrolló una solución más amplia para la línea: transportadores, sistema de asistencia por vacío y paletización mecanizada. La inversión de capital documentada en la propuesta técnica ascendió a USD 130.045, distribuida entre materiales de transportadores, equipos de fin de línea, instalación mecánica, cableado y controles. Por confidencialidad, se omiten el nombre de la empresa, el proveedor y elementos comerciales identificables (Tabla 2).

Tabla 2. *Inversión de capital documentada y análisis económico ex ante mediante punto de equilibrio.*

Concepto	Valor	Interpretación
Material de transportadores	USD 33.400	Sistema de conveyance.
Material de fin de línea	USD 38.600	Asistencia de manipulación y paletización.
Instalación mecánica	USD 25.685	Instalación de equipos y transportadores.
Cableado y controles	USD 32.360	Instalación eléctrica y control.
Total documentado	USD 130.045	Subtotal de la propuesta técnica; sujeto a exclusiones contractuales.
Costo directo promedio de una reclamación por distensión laboral	USD 32.023	Referencia general de OSHA Safety Pays para reclamaciones con tiempo perdido.
Punto de equilibrio directo	4,06 reclamaciones equivalentes	Cociente entre la inversión documentada y el costo directo promedio de referencia.
Costos indirectos y beneficios de productividad	No monetizados	Criterio conservador; no se dispone de flujos reproducibles.
Indicadores financieros de retorno	No calculados	No se reportan retorno sobre la inversión, valor actual neto, tasa interna de retorno ni período de recuperación sin flujos reales posimplementación.

Estado posimplementación y seguimiento descriptivo

La puesta en marcha del sistema se informó para enero de 2026. Las fotografías posteriores muestran la configuración implementada (Figura 2) con transportadores y asistencia por vacío para transferir las cajas, reduciendo la necesidad de ejecutar el levantamiento manual observado en la línea base. Según el responsable técnico del proyecto, durante el seguimiento inicial hasta la revisión del manuscrito en agosto de 2026 no se reportaron incidentes ni absentismo asociados a la tarea y los operadores no comunicaron molestias o fatiga. Este resultado se presenta como seguimiento operacional descriptivo y no como prueba cuantitativa de reducción de REBA o NIOSH.



A. Transportadores instalados B. Asistencia por vacío en transferencia C. Manipulación asistida de la carga

Figura 2. *Estado posimplementación de la estación: transportadores y manipulación asistida por vacío. Fotografías anonimizadas; enero-agosto de 2026*

Análisis económico ex ante mediante punto de equilibrio

OSHA Safety Pays reporta un costo directo promedio de USD 32.023 para reclamaciones clasificadas como *strain*. Estos valores proceden de reclamaciones de *workers' compensation* con tiempo perdido aportadas por el National Council on Compensation Insurance y corresponden a los años de póliza 2015–2017; por ello se utilizan únicamente como referencia económica general y no como costo específico de la empresa (OSHA, n.d.).

Con una inversión de capital documentada de USD 130.045 y utilizando el costo directo promedio de USD 32.023, el punto de equilibrio es 130.045 / 32.023 = 4,06 reclamaciones equivalentes. En términos interpretativos, el costo inicial de capital equivale aproximadamente al costo directo promedio de cuatro reclamaciones tipo *strain*. El cálculo no predice que tales lesiones ocurrirían ni atribuye causalmente su evitación al proyecto; expresa únicamente la magnitud económica relativa de la inversión.

Discusión

De la identificación del riesgo a una decisión de ingeniería

El principal aporte del caso no es un porcentaje aislado de reducción, sino la trazabilidad del proceso de decisión. La preocupación operativa fue seguida por una evaluación cuantitativa, la identificación de factores de carga y postura, la recomendación de controles, la formalización de un proyecto y la implementación de una solución de ingeniería. Este encadenamiento es coherente con una gestión ergonómica sistémica, que exige pasar del diagnóstico a la modificación de la fuente del riesgo (Bazaluk et al., 2023).

Las medidas administrativas —formación, procedimientos operativos, pausas o rotación— cumplen una función importante, pero no necesariamente eliminan la exposición derivada de una carga de 65 lb manipulada más de mil veces por turno. En el caso analizado, la mecanización mediante

transportadores, asistencia por vacío y paletización modifica físicamente la interacción trabajador-carga y constituye el núcleo del control de ingeniería. La rotación conserva valor como medida complementaria cuando persisten tareas manuales residuales.

IA, métodos clásicos y validación humana

El enfoque híbrido conserva una ventaja metodológica relevante. Las herramientas de inteligencia artificial pueden aumentar la continuidad de la observación y reducir la variabilidad asociada al registro manual; sin embargo, la interpretación del resultado exige comprender la tarea, el contexto, la fuerza aplicada, las restricciones del proceso y la factibilidad del control (Chatzis et al., 2022; Scataglini et al., 2025). La literatura también advierte que su incorporación en seguridad y salud ocupacional requiere atender sesgos, privacidad, calidad de datos, equidad y supervisión humana, así como factores individuales que pueden modificar la exposición y la respuesta musculoesquelética, entre ellos el envejecimiento de la fuerza laboral (El-Helaly, 2024; Fisher et al., 2023; Nygaard et al., 2022). REBA y NIOSH, por su parte, aportan reglas de interpretación conocidas y permiten mantener comparabilidad con la literatura y la práctica profesional.

La secuencia BPESP puede formularse como IA + método validado + juicio profesional + ingeniería + seguimiento. Esta formulación es más robusta que una narrativa en la cual el software decide por sí solo la solución o predice clínicamente qué trabajador desarrollará un TME.

El análisis económico como soporte de decisión

El análisis económico puede contribuir a que una recomendación ergonómica se convierta en una inversión de capital. OSHA Safety Pays reconoce que las lesiones generan costos directos e indirectos y que su impacto puede expresarse en términos de rentabilidad y ventas necesarias para absorber pérdidas. No obstante, la propia OSHA advierte que la herramienta pretende aumentar la conciencia empresarial y no sustituye un análisis detallado de costos específicos (OSHA, n.d.).

Por esa razón, el presente estudio no emplea porcentajes probabilísticos ni indicadores de ROI, VAN o TIR, sino un punto de equilibrio transparente basado en una inversión documentada y un costo promedio externo verificable. La comparación muestra que una inversión de USD 130.045 equivale aproximadamente al costo directo promedio de cuatro reclamaciones tipo *strain*, sin incorporar costos indirectos ni ganancias de productividad. La estimación es deliberadamente conservadora y debe interpretarse como soporte de decisión *ex ante*, no como beneficio realizado.

Implicaciones jurídicas: deber preventivo y evidencia de diligencia

Desde el punto de vista jurídico estadounidense, la ausencia de un estándar federal general de ergonomía no implica ausencia de obligación preventiva. OSHA promulgó un *Ergonomics Program Standard* el 14 de noviembre de 2000 (65 Fed. Reg. 68262), que quedó sin efecto mediante una resolución de desaprobación adoptada bajo la *Congressional Review Act*, convertida en Public Law 107-5 el 20 de marzo de 2001. Como consecuencia, OSHA retiró el estándar del *Code of Federal Regulations* con efectos desde el 23 de abril de 2001 (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 2001). La *Congressional Review Act* dispone, además, que una regla desaprobada no puede ser reemitida en una forma sustancialmente igual ni puede emitirse una nueva regla sustancialmente igual, salvo autorización expresa mediante una ley posterior (5 U.S.C. § 801(b)(2)).

La sección 5(a)(1) de la *Occupational Safety and Health Act —General Duty Clause—* exige a cada empleador proporcionar a sus trabajadores un empleo y un lugar de trabajo libres de peligros reconocidos que estén causando o puedan probablemente causar muerte o daño físico grave (29 U.S.C. § 654(a)(1)). Conforme al *Field Operations Manual*, para acreditar una violación de esta cláusula debe demostrarse que el empleador no mantuvo el lugar de trabajo libre de un peligro al que sus trabajadores estaban expuestos; que el peligro era reconocido; que causaba o podía probablemente causar muerte o daño físico grave; y que existía un método factible y útil para eliminarlo o reducirlo (OSHA, 2020).

La *Occupational Safety and Health Review Commission* ha reconocido la posibilidad de aplicar la *General Duty Clause* a peligros ergonómicos. En *Pepperidge Farm, Inc.* (OSHRC No. 89-0265, 1997), la

Comisión sostuvo que la cláusula podía utilizarse frente a peligros derivados del levantamiento y de los movimientos repetitivos. En relación con los levantamientos, confirmó infracciones calificadas como *willful* y determinó que el reconocimiento del peligro estaba respaldado, entre otros elementos, por memorandos del ergonomista corporativo, registros médicos y comunicaciones de la aseguradora. Respecto de los movimientos repetitivos, en cambio, la Comisión mantuvo la desestimación de las imputaciones porque la Secretaría no demostró suficientemente que las medidas adicionales propuestas fueran factibles y que su eficacia justificara exigirlas frente a las medidas ya adoptadas por la empresa.

La consecuencia para BPESP es doble. La justificación económica no sustituye el deber preventivo, sino que lo complementa. Al mismo tiempo, la documentación puede operar en ambas direcciones: una evaluación técnica que identifica y cuantifica un peligro puede constituir evidencia de su reconocimiento por el empleador, mientras que la documentación de controles factibles, su implementación y el seguimiento posterior pueden evidenciar la respuesta preventiva de la organización. Por ello, el valor protector de la trazabilidad depende de que la identificación del riesgo se traduzca en acciones efectivas. Una organización que identifica el peligro, documenta su nivel mediante métodos técnicamente defendibles, selecciona controles factibles, los implementa y conserva evidencia del proceso fortalece su diligencia preventiva y la gobernanza interna del riesgo. La documentación técnica, sin embargo, no garantiza por sí sola el cumplimiento legal y debe corresponder a acciones efectivamente implementadas. Esta interpretación es congruente con la política de OSHA de seguimiento de peligros ergonómicos mediante las *Ergonomic Hazard Alert Letters* (OSHA, 2007).

Dado que la instalación analizada se encuentra en Texas, el contexto jurídico de la compensación por accidentes y enfermedades laborales presenta una particularidad adicional. En Texas, salvo determinadas excepciones legales, los empleadores privados pueden optar por obtener cobertura de *workers' compensation* (Tex. Lab. Code § 406.002(a)). Cuando el empleador no dispone de cobertura obtenida conforme al sistema autorizado por la ley, no puede invocar frente a una demanda del trabajador lesionado las defensas de negligencia contributiva, asunción del riesgo o negligencia de un compañero de trabajo; no obstante, corresponde al demandante demostrar la negligencia del empleador o de uno de sus agentes o empleados actuando dentro del ámbito general de sus funciones (Tex. Lab. Code § 406.033(a), (d)).

Esta particularidad debe distinguirse del análisis económico desarrollado en el presente estudio. OSHA Safety Pays utiliza costos promedio de reclamaciones de *workers' compensation* con tiempo perdido suministrados por el National Council on Compensation Insurance y correspondientes a los años de póliza 2015–2017. En consecuencia, dichos valores se utilizan exclusivamente como referencia económica general y no permiten inferir el régimen de cobertura ni los costos reales de la organización analizada (OSHA, n.d.).

Finalmente, la existencia de regímenes distintos no implica ausencia de coordinación con la seguridad social federal. Cuando una persona recibe Social Security Disability Insurance (SSDI) y, además, determinadas prestaciones de *workers' compensation* o prestaciones públicas por discapacidad, los beneficios de SSDI pueden reducirse cuando el total combinado supera el 80 % de las ganancias corrientes promedio previas a la discapacidad. La reducción continúa hasta el mes en que el trabajador alcanza la edad plena de jubilación o hasta que cesan las otras prestaciones, lo que ocurra primero (Social Security Administration [SSA], 2024). En consecuencia, es más preciso describir una arquitectura fragmentada con mecanismos parciales de coordinación que sistemas completamente desconectados. La Tabla 3 resume los principales instrumentos jurídicos e institucionales analizados anteriormente y sus implicaciones para la interpretación preventiva y económica del BPESP.

Prevención primaria, productividad y protección social

La prevención de los TME tiene efectos que desbordan la estación de trabajo. Una lesión laboral puede generar costos para el empleador y el trabajador y, según el régimen de cobertura aplicable, involucrar mecanismos de *workers' compensation*, atención de salud y determinadas prestaciones por discapacidad. La forma en que esos costos y prestaciones se distribuyen depende del caso, de la

jurisdicción y de la cobertura existente. En Texas, donde la cobertura de *workers' compensation* es generalmente electiva para los empleadores privados, no puede presumirse una distribución uniforme de esos costos (Tex. Lab. Code §§ 406.002, 406.033). Asimismo, determinadas prestaciones de *workers' compensation* o discapacidad pública pueden interactuar con los beneficios de SSDI mediante mecanismos de reducción previstos por la seguridad social federal (SSA, 2024). Desde una perspectiva preventiva, reducir la exposición antes de que se materialice el daño puede disminuir la necesidad de activar estos mecanismos y contribuir a preservar la capacidad laboral.

Tabla 3. *Marco jurídico-institucional relevante para la interpretación preventiva y económica del caso*

Instrumento / institución	Contenido relevante	Implicación para BPESP
OSH Act § 5(a)(1), 29 U.S.C. § 654(a)(1)	Deber de mantener el lugar de trabajo libre de peligros reconocidos que causen o puedan probablemente causar muerte o daño físico grave.	Sustenta la dimensión preventiva y la necesidad de identificar y controlar peligros reconocidos.
OSHA *Field Operations Manual* (2020); *Pepperidge Farm* (OSHRC, 1997)	Define los elementos de la *General Duty Clause* y reconoce su aplicabilidad a peligros de levantamiento y movimiento repetitivo.	La evaluación documentada puede evidenciar reconocimiento del peligro; la respuesta debe incorporar medidas factibles y efectivas.
Congressional Review Act, 5 U.S.C. § 801(b)(2); Pub. L. 107-5	Dejó sin efecto el estándar ergonómico federal de 2000 y limita su reemisión en forma sustancialmente igual.	Explica por qué la gestión del riesgo ergonómico no descansa actualmente en un estándar federal general específico.
Tex. Lab. Code §§ 406.002, 406.033	La cobertura de *workers' compensation* es generalmente electiva para empleadores privados; el empleador sin cobertura pierde determinadas defensas tradicionales.	El régimen económico y jurídico de una lesión puede variar según la cobertura aplicable.
SSA – WC/PDB offset	Determinadas prestaciones de *workers' compensation* o discapacidad pública pueden producir una reducción de SSDI.	Evidencia mecanismos parciales de coordinación entre sistemas de protección.
OSHA – Safety Pays	Herramienta de sensibilización económica basada en costos promedio de reclamaciones; no crea obligaciones jurídicas ni estima los costos específicos de la empresa.	Proporciona una referencia externa para el análisis económico *ex ante*.

El valor añadido de BPESP radica en hacer visibles, antes de la lesión, el riesgo físico, la necesidad de controles factibles y la dimensión económica de la decisión. En este caso, el seguimiento posimplementación ofrece señales operativas favorables, pero la ausencia de una reevaluación cuantitativa obliga a mantener prudencia causal. La combinación de evaluación técnica, evidencia de implementación y análisis económico transparente permite, aun así, presentar la ergonomía como una inversión preventiva y productiva sin exagerar los resultados disponibles. OSHA Safety Pays se utiliza únicamente como referencia económica externa y no como estimación de los costos reales de la organización ni de su régimen particular de cobertura (OSHA, n.d.).

Limitaciones del estudio

- El estudio se limita a un caso de una estación de trabajo; sus resultados no son automáticamente generalizables a otras plantas o sectores.
- No se dispone de una reevaluación cuantitativa posintervención mediante REBA, NIOSH o modelado biomecánico. Por tanto, no se estima numéricamente la reducción del riesgo residual ni se afirma una transición confirmada a una categoría cromática específica.
- El seguimiento posterior es descriptivo y se basa en evidencia fotográfica y en el reporte técnico del responsable del proyecto; la ausencia reportada de incidentes, absentismo, molestias o fatiga no fue contrastada en este manuscrito con registros clínicos o administrativos independientes.

- El análisis económico utiliza costos promedio de OSHA Safety Pays basados en reclamaciones con tiempo perdido correspondientes a los años de póliza 2015–2017. Estos valores constituyen una referencia económica general y no reflejan necesariamente costos actuales o específicos de la organización.
- No se monetizaron beneficios operativos como reducción de *downtime*, cambios de *headcount*, *throughput*, horas extra, productividad o costos indirectos; por ello no se calcularon ROI, VAN, TIR ni período de recuperación utilizando flujos económicos reales posteriores a la implementación.
- El análisis jurídico tiene carácter interpretativo y contextual; no constituye una determinación de cumplimiento normativo ni de responsabilidad legal de la organización. Tampoco se verificó el régimen específico de cobertura de *workers' compensation* del empleador analizado, por lo que no se infieren consecuencias particulares sobre cobertura, costos de reclamaciones o litigación.
- La identidad de la empresa y de los proveedores se mantiene anonimizada; las imágenes incluidas fueron depuradas para reducir identificadores personales y comerciales.

Consideraciones finales

El caso aporta evidencia documental de que BPESP puede funcionar como una arquitectura de decisión y no únicamente como una herramienta de evaluación. La secuencia observada —alerta operativa, análisis cuantitativo, identificación de factores contribuyentes, recomendación de controles, formalización del proyecto, implementación y seguimiento— muestra una trazabilidad preventiva susceptible de auditoría y réplica metodológica.

La línea base identificó una exposición significativa: cajas de 65 lb, 1.040 levantamientos y aproximadamente 31,2 toneladas métricas manipuladas por turno, con REBA cercano a 8, índice NIOSH superior a 3 y hallazgos biomecánicos y posturales que justificaban intervenir la fuente del riesgo. La solución implementada incorporó transportadores, asistencia por vacío y paletización mecanizada, modificando físicamente la interacción trabajador-carga.

El seguimiento operativo inicial posterior a la puesta en marcha no reportó incidentes ni absentismos asociados a la tarea y no registró quejas de molestias o fatiga, aunque estos hallazgos son descriptivos y no sustituyen una reevaluación cuantitativa. En el plano económico, el análisis de punto de equilibrio muestra que la inversión de capital documentada equivale aproximadamente al costo directo promedio de 4,06 reclamaciones tipo *strain* según OSHA Safety Pays, sin incluir costos indirectos ni ganancias de productividad. Esta equivalencia constituye una referencia económica *ex ante* y no una estimación de lesiones evitadas, ahorros realizados o costos específicos de la organización.

En el plano jurídico, el incentivo económico no reemplaza la obligación preventiva. La *General Duty Clause* mantiene relevancia frente a peligros ergonómicos reconocidos cuando concurren sus requisitos, y la trazabilidad generada mediante una metodología como BPESP puede contribuir a documentar tanto el reconocimiento del peligro como la respuesta preventiva adoptada. Su valor como evidencia de diligencia depende de que la identificación del riesgo vaya seguida de la selección e implementación de controles factibles y de un seguimiento efectivo. La documentación técnica, por sí sola, no garantiza cumplimiento legal.

La principal línea futura de investigación es incorporar una reevaluación cuantitativa posintervención y flujos económicos reales para completar una evaluación longitudinal del desempeño técnico y financiero de la intervención.

Agradecimientos

A nuestros colaboradores.

Conflicto de intereses

Felipe Larez es autor y desarrollador de la metodología BPESP evaluada en este trabajo; esta condición se declara como potencial interés intelectual. El artículo no atribuye resultados promocionales a marcas, proveedores o plataformas comerciales.

Referencias

Bazaluk, O., Tsopa, V., Cheberiachko, S., Deryugin, O., Radchuk, D., Borovytskyi, O., & Lozynskyi, V. (2023). Ergonomic risk management process for safety and health at work. Frontiers in Public Health, 11, 1253141. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1253141

Camargo Salinas, M. A., Miranda Arandia, N. Y., & Suárez Pérez, J. F. (2024). Estado del arte en evaluación de métodos de detección automatizada de riesgo ergonómico en entornos de trabajo industrial. Gestión de la Seguridad y la Salud en el Trabajo, 6(2), 25–37. https://doi.org/10.15765/jzdrd646

Chatzis, T., Konstantinidis, D., & Dimitropoulos, K. (2022). Automatic ergonomic risk assessment using a variational deep network architecture. Sensors, 22(16), 6051. https://doi.org/10.3390/s22166051

Congressional Review Act, 5 U.S.C. § 801(b)(2).

Danylak, S., Walsh, L. J., & Zafar, S. (2024). Measuring ergonomic interventions and prevention programs for reducing musculoskeletal injury risk in the dental workforce: A systematic review. Journal of Dental Education, 88(2), 128–141. https://doi.org/10.1002/jdd.13403

El-Helaly, M. (2024). Artificial intelligence and occupational health and safety, benefits and drawbacks. La Medicina del Lavoro, 115(2), e2024014. https://doi.org/10.23749/mdl.v115i2.15835

Fisher, E., Flynn, M. A., Pratap, P., & Vietas, J. A. (2023). Occupational safety and health equity impacts of artificial intelligence: A scoping review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(13), 6221. https://doi.org/10.3390/ijerph20136221

Franklin, M., Graybeal, P., & Cooper, D. (2019). *Principles of accounting, volume 2: Managerial accounting*. OpenStax, Rice University. https://openstax.org/details/books/principles-managerial-accounting

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

Hulshof, C. T. J., Pega, F., Neupane, S., Colosio, C., Daams, J. G., Kc, P., Kuijer, P. P. F. M., Mandic-Rajcevic, S., Masci, F., van der Molen, H. F., Nygård, C. H., Oakman, J., Proper, K. I., & Frings-Dresen, M. H. W. (2021). The effect of occupational exposure to ergonomic risk factors on osteoarthritis of hip or knee and selected other musculoskeletal diseases: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates. Environment International, 150, 106349. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106349

Larez, F., & Maribao, Y. (2025a). Integration of artificial intelligence and traditional methods for ergonomic risk assessment. e-Revista Multidisciplinaria del Saber, 3, e-RMS07102025. https://doi.org/10.61286/e-rms.v3i.287

Larez, F., & Maribao, Y. (2025b). BPESP as a tool for ergonomic management: Technical and legal evidence in industrial environments. e-Revista Multidisciplinaria del Saber, 3, e-RMS05112025. https://doi.org/10.61286/e-rms.v3i.291

National Institute for Occupational Safety and Health. (1997). Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back (DHHS [NIOSH] Publication No. 97-141). U.S. Department of Health and Human Services.

Nygaard, N. B., Thomsen, G. F., Rasmussen, J., Skadhauge, L. R., & Gram, B. (2022). Ergonomic and individual risk factors for musculoskeletal pain in the ageing workforce. BMC Public Health, 22(1), 1975. https://doi.org/10.1186/s12889-022-14386-0

Occupational Safety and Health Act of 1970, 29 U.S.C. § 654(a)(1).

Occupational Safety and Health Administration. (2001). Ergonomics program: Final rule; removal. Federal Register, 66, 20403. https://www.osha.gov/laws-regs/federalregister/2001-04-23

Occupational Safety and Health Administration. (2007, April 11). *Ergonomic Hazard Alert Letter Follow-up Policy* (OSHA Directive CPL 02-00-144). U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/enforcement/directives/cpl-02-00-144

Occupational Safety and Health Administration. (2020, April 14). *Field operations manual* (OSHA Directive CPL 02-00-164). U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/enforcement/directives/cpl-02-00-164

Occupational Safety and Health Administration. (n.d.). *Estimated costs of occupational injuries and illnesses and estimated impact on a company's profitability worksheet (Safety Pays).* U.S. Department of Labor. Retrieved July 02, 2026, from *https://www.osha.gov/safetypays/estimator-text*

Secretary of Labor v. Pepperidge Farm, Inc., OSHRC Docket No. 89-0265 (1997). https://www.oshrc.gov/wp-content/uploads/89-0265.pdf

Scataglini, S., Fontinovo, E., Khafaga, N., Khan, M. U., Khan, M. F., & Truijen, S. (2025). A systematic review of the accuracy, validity, and reliability of markerless versus marker camera-based 3D motion capture for industrial ergonomic risk analysis. Sensors, 25(17), 5513. https://doi.org/10.3390/s25175513

Social Security Administration. (2024). *Annual Statistical Report on the Social Security Disability Insurance Program, 2024: Beneficiaries who have filed for workers' compensation or public disability benefits.* https://www.ssa.gov/policy/docs/statcomps/di_asr/2024/sect02.html

Texas Labor Code §§ 406.002, 406.033. https://statutes.capitol.texas.gov/Docs/SDocs/LABORCODE.pdf

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

Yunus, M. N. H., Jaafar, M. H., Mohamed, A. S. A., Azraai, N. Z., & Hossain, M. S. (2021). Implementation of kinetic and kinematic variables in ergonomic risk assessment using motion capture simulation: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8342. https://doi.org/10.3390/ijerph18168342