

Factores determinantes en la aceptación de tecnologías de ingeniería de vibraciones en el contexto de nearshoring y su relación con las redes de rehabilitación biomecánicas en universidades del centro de México

Determining factors in the acceptance of vibration engineering technologies in the context of nearshoring and its relationship with biomechanical rehabilitation networks in universities in central Mexico

Julio E. Crespo¹  <https://orcid.org/0000-0001-9098-1233>
Celia Yaneth Quiroz Campas²  <https://orcid.org/0000-0002-6068-1552>
Cruz García Lirios³  <https://orcid.org/0000-0002-9364-6796>
Rosa María Rincón Ornelas⁴  <https://orcid.org/0000-0002-8947-6501>
Tirso Javier Hernández Gracia⁵  <https://orcid.org/0000-0003-0425-0800>
Héctor Daniel Molina Ruíz⁶  <https://orcid.org/0000-0003-4657-3237>
Enrique Martínez Muñoz⁷  <https://orcid.org/0000-0001-6418-5292>
Lidia Amalia Zallas Esquer⁸  <https://orcid.org/0000-0002-2091-9079>
Francisco Espinoza Morales⁹  <https://orcid.org/0000-0002-4552-5893>
Arturo Sánchez Sánchez¹⁰  <https://orcid.org/0000-0002-4946-1559>

Resumen

La rehabilitación biomecánica se ha establecido como una alternativa a las lesiones de estudiantes en las universidades, aunque la adhesión a la rehabilitación no ha sido explorada desde la perspectiva del paciente. Por consiguiente, el objetivo del presente trabajo fue comparar un modelo de red neuronal observado con respecto al estado del arte a fin de poder anticipar escenarios de rehabilitación. Se realizó un estudio transversal, exploratorio y correlacional con una muestra de

¹ Magister en Ciencias y Máster en Desarrollo Sostenible. Profesor de Estado en Biología y Ciencias Naturales. Profesor Asociado de la Universidad de Los Lagos, Osorno, Chile.

² Doctora en Educación. Profesora-investigadora del Instituto Tecnológico de Sonora, México

³ Doctor en Psicología. Profesor Investigador de la Universidad de la Salud, México

⁴ Doctora en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología. Profesora de Tiempo Completo de la Universidad de Sonora, Navojoa, México

⁵ Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor Investigador de Tiempo Completo del Área Académica de Administración (AAA) en el Instituto de Ciencias Económico Administrativas de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

⁶ Profesor Investigador de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

⁷ Doctor en Ciencias Administrativas. Profesor investigador del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura en el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería de la UAEH

⁸ Doctora en Educación. Profesora de Tiempo Completo de la Universidad de Sonora, Navojoa, México

⁹ Doctor en Educación. Profesora de Tiempo Completo de la Universidad de Sonora, Navojoa, México

¹⁰ Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Tlaxcala

450 estudiantes seleccionados por su lesión e intervención biomecánica en universidades del centro de México. Los resultados indican la prevalencia del tiempo como eje estructural y central en la secuencia de aprendizaje de la red. En relación con el estado del arte donde se destaca el contexto de rehabilitación, el presente trabajo sugiere la inclusión de las variables objetivas a fin de poder complementarlas con las expectativas de rehabilitación para anticipar escenarios de adhesión.

Palabras claves: Análisis de Redes Neuronales, Rehabilitación Biomecánica, Riesgo de Lesión, Tiempo de Rehabilitación

Abstract

Biomechanical rehabilitation has been established as an alternative to student injuries in universities, although adherence to rehabilitation has not been explored from the patient's perspective. Therefore, the aim of the present work was to compare an observed neural network model with respect to the state of the art in order to be able to anticipate rehabilitation scenarios. A cross-sectional, exploratory and correlational study was conducted with a sample of 450 students selected for their injury and biomechanical intervention at universities in central Mexico. The results indicate the prevalence of time as a structural and central axis in the learning sequence of the network. Regarding the state of the art where the rehabilitation context is highlighted, the present work suggests the inclusion of objective variables in order to be able to complement them with rehabilitation expectations to anticipate adherence scenarios.

Keywords: Neural Network Analysis, Biomechanical Rehabilitation, Injury Risk, Rehabilitation Time.

Como citar este artículo:

Crespo, J., Quiroz, C. Y., García, C., Rincón, R. M., Hernández, T. J., Molina, H. D., Martínez, E., Zallas, L. A., Espinoza, F., Sánchez, A. (2025). Factores determinantes en la aceptación de tecnologías de ingeniería de vibraciones en el contexto de nearshoring y su relación con las redes de rehabilitación biomecánicas en universidades del centro de México. En *Revista ACANITS Redes Temáticas en Trabajo Social*. 4(7), 130- 153 pp. DOI: <https://doi.org/10.62621/es9wt655>

Introducción

La ingeniería de vibraciones ha cobrado relevancia en múltiples sectores productivos debido a su capacidad para diagnosticar fallas, optimizar procesos y mejorar la toma de decisiones mediante el análisis de datos. Si bien su aplicabilidad es ampliamente reconocida en entornos industriales, esta investigación también busca destacar su potencial en contextos personales y académicos. En particular, se explora cómo los estudiantes universitarios pueden beneficiarse del uso de tecnologías de análisis de vibraciones como herramienta formativa, tanto en su comprensión teórica como en su desarrollo práctico. Esta perspectiva permite problematizar el acceso, uso y apropiación de estas tecnologías en función del perfil y contexto de los participantes.

La aceptación de tecnologías en la ingeniería de vibraciones representa un tema clave en la optimización de procesos industriales, particularmente en el contexto del nearshoring (Hall, 2014). Este fenómeno, caracterizado por el traslado de operaciones empresariales a regiones cercanas al país de origen, abre nuevas oportunidades y retos en la adopción de soluciones tecnológicas.

Si bien el Modelo de Aceptación Tecnológica (TAM) establece que la utilidad percibida (PU) y la facilidad de uso percibida (PEOU) son factores determinantes, el contexto regional, cultural y económico puede modificar significativamente estos aspectos (Kuo & Donelan, 2010). Este artículo argumenta que la aceptación tecnológica de la rehabilitación biomecánica en la ingeniería de vibraciones depende tanto de factores individuales como de condiciones estructurales propias del nearshoring, tales como la compatibilidad cultural, la infraestructura tecnológica y las condiciones regulatorias.

El desarrollo histórico de la aceptación tecnológica en ingeniería de vibraciones ha estado intrínsecamente vinculado a la evolución de necesidades industriales como el mantenimiento predictivo, la reducción de ruido y el cumplimiento de normas ambientales (Winter, 2009). Modelos teóricos como el Technology Acceptance Model (TAM), que analiza la aceptación tecnológica en función de la utilidad y la facilidad de uso percibida; la Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT), que incorpora elementos como la expectativa de desempeño, esfuerzo, influencia social y condiciones facilitadoras; y la Diffusion of Innovations (DoI), que describe cómo las innovaciones se propagan entre los miembros de una comunidad, explican cómo las innovaciones tecnológicas son adoptadas tanto a nivel individual como organizacional. Sin embargo, las tendencias de nearshoring introducen nuevas variables que trascienden los marcos teóricos tradicionales, tales como la compatibilidad cultural, la resiliencia logística y la adaptabilidad a infraestructuras tecnológicas regionales, lo que sugiere la necesidad de extender o complementar estos modelos para analizar adecuadamente la adopción tecnológica en contextos industrialmente dinámicos y globalmente interconectados.

La teoría unificada de aceptación y uso de tecnología (UTAUT, por sus siglas en inglés) es un modelo desarrollado para explicar y predecir el comportamiento de los usuarios en relación con la adopción de tecnologías. Este modelo fue propuesto por Venkatesh et al. (2003) y se basa en cuatro constructos clave: la expectativa de desempeño, la expectativa de esfuerzo, la influencia social y las condiciones facilitadoras. Según este modelo, la aceptación de una tecnología está determinada por cómo los usuarios perciben su utilidad, facilidad de uso, las presiones sociales que sienten para adoptarla y los recursos disponibles para hacerlo (Venkatesh et al, 2003).

En el campo de la ingeniería de vibraciones, se emplean diversas tecnologías para monitorear, analizar y controlar las vibraciones en máquinas e infraestructuras. Estas incluyen sensores como acelerómetros y medidores de desplazamiento, sistemas de adquisición de datos para recolectar información en tiempo real, y software especializado en análisis de vibraciones. Estos avances permiten detectar irregularidades en el funcionamiento de máquinas, como las que podrían generar fallos, y son fundamentales en sectores como la automotriz, la aeronáutica y la energía (Kundt, 2017).

En este contexto, nearshoring no solo reduce costos de producción y transporte, sino que también facilita la adopción de tecnologías personalizadas para industrias locales. Esto plantea un argumento crucial: la proximidad cultural y geográfica entre la sede y las operaciones nearshore

puede acelerar la aceptación tecnológica (Durandau et al., 2018). Por ejemplo, herramientas avanzadas como sensores de vibración y plataformas de análisis en tiempo real se implementan más rápidamente en regiones con infraestructuras tecnológicas robustas y con marcos regulatorios armonizados.

Argumentos a Favor de la Adopción Tecnológica en el Nearshoring

Compatibilidad Cultural: La similitud cultural entre el país de origen y la región nearshore facilita la aceptación de tecnologías (O’Sullivan & Schmitz, 2019). Estudios muestran que los equipos técnicos en regiones con proximidad cultural comparten valores que favorecen la colaboración y la innovación.

Reducción de Costos e Incremento en Eficiencia: Nearshoring disminuye costos operativos y logísticos, permitiendo mayores inversiones en capacitación y adquisición de tecnologías. La inversión inicial en herramientas avanzadas de ingeniería de vibraciones se compensa con retornos a largo plazo derivados de mejoras en eficiencia y productividad.

Infraestructura Tecnológica: La existencia de una infraestructura tecnológica adecuada en regiones nearshore permite la implementación efectiva de tecnologías avanzadas (Zatsiorsky & Prilutsky, 2012). Sin embargo, las brechas en infraestructura pueden limitar el potencial de adopción, lo que subraya la necesidad de alianzas público-privadas para superar estas limitaciones.

Retos en la Adopción Tecnológica

Falta de Capacitación: La adopción de tecnologías de ingeniería de vibraciones requiere habilidades especializadas (Nordin & Frankel, 2012). Las empresas deben invertir en programas de formación para cerrar la brecha de habilidades en regiones nearshore.

Cumplimiento Regulatorio: Las diferencias en normativas entre países pueden retrasar la aceptación tecnológica (McGinnis, 2013). Una estrategia efectiva implica alinear las tecnologías adoptadas con los marcos regulatorios locales e internacionales.

Resistencia al Cambio: Las percepciones negativas hacia las nuevas tecnologías, como la ansiedad o el temor al reemplazo laboral, pueden frenar la adopción (Levangie & Norkin, 2011). Es esencial implementar estrategias de comunicación y gestión del cambio que promuevan la confianza en la tecnología.

La aceptación de tecnologías en ingeniería de vibraciones en el contexto de nearshoring está influenciada por factores tecnológicos, culturales y económicos (Dewald & Beer, 2001). Si bien las ventajas del nearshoring, como la proximidad cultural y los menores costos, facilitan la adopción, también es fundamental abordar los retos relacionados con la capacitación, la infraestructura y el cumplimiento normativo. La colaboración entre gobiernos, empresas y comunidades locales resulta clave para maximizar los beneficios de estas tecnologías en el ámbito industrial y académico.

El uso intensivo de tecnologías en ingeniería de vibraciones no solo plantea desafíos técnicos, sino que también conlleva implicaciones sociales y económicas. En el contexto de la estrategia de nearshoring, donde las empresas buscan optimizar sus operaciones al trasladarlas

cerca de sus países de origen, el debate se centra en cómo estas tecnologías son aceptadas y adaptadas a las condiciones locales (véase Tabla 1).

Tabla 1.

Estado del arte de la ingeniería de vibraciones frente al nearshoring

Autores y Año	Conceptual y Operacional	Muestra e Instrumentos	Psicometría
García & Hernández, 2021	Vibraciones vs eficiencia energética en procesos industriales nearshore. Diseño ergonómico para prevenir lesiones.	25 líneas de producción; 30 trabajadores. Analizador de espectro, sensores piezoeléctricos y posturales.	Alfa = 0.85; Sensibilidad: ± 0.01 g / ± 0.02 mmHg; Validez = 0.83
López et al., 2023	Análisis y control de vibraciones en sistemas industriales; evaluación de transporte en plantas nearshore.	50 sistemas de transporte. Acelerómetros triaxiales.	Alfa = 0.92; ICC = 0.89
Rivera et al., 2020	Diseño estructural y control de vibraciones en instalaciones nearshore. Biomecánica aplicada al equilibrio dinámico.	15 instalaciones industriales; 20 adultos entrenados. FEM, monitoreo en tiempo real, plataforma estabilométrica, EMG.	Validez > 0.80; Error simulado < 5%; ICC = 0.93; Alfa = 0.90
Smith et al., 2023	Biomecánica y análisis de movimiento en atletas.	50 nadadores de alto rendimiento. EMG superficial y cámaras 3D.	Validez > 0.85; ICC = 0.91
Zhang & Kumar, 2022	Vibraciones y seguridad logística en cadenas de suministro globales.	30 sistemas de transporte en Asia y América. Simulador y software dinámico.	CFI = 0.97; RMSEA = 0.05; validación cruzada.
Zhang & Lee, 2022	Interacción biomecánica-ambiental en prevención de lesiones.	40 corredores recreativos. Plataforma de fuerza e IMU.	Alfa = 0.88; RMSEA = 0.06

Desafíos Técnicos en la Formación Académica

El uso intensivo de tecnologías avanzadas en campos como la ingeniería de vibraciones representa un desafío significativo para los estudiantes universitarios, quienes deben dominar herramientas y conceptos altamente especializados. La integración de nuevas tecnologías en los programas académicos exige que los jóvenes no solo posean conocimientos teóricos, sino que también adquieran habilidades prácticas para operar y optimizar estos sistemas complejos. Esto implica una mayor carga de trabajo y la necesidad de una formación continua para mantenerse al día con los avances rápidos en el campo. Según Martínez y Rodríguez (2020), la presión académica derivada de la rápida evolución tecnológica puede generar altos niveles de estrés entre los estudiantes, afectando su bienestar emocional y mental. Este fenómeno resalta la necesidad de equilibrar la formación técnica con el apoyo emocional y psicológico para los jóvenes.

Implicaciones Sociales para los Estudiantes Universitarios

La incorporación de estas tecnologías en la ingeniería de vibraciones también tiene implicaciones sociales dentro del entorno universitario. La rápida adopción de herramientas tecnológicas crea un entorno competitivo donde los estudiantes con mayor acceso a recursos y capacitación tienen una ventaja, mientras que aquellos con menos oportunidades pueden enfrentar dificultades. Según Pérez et al. (2019), las brechas de acceso a tecnologías avanzadas en los entornos académicos pueden agravar las desigualdades sociales, generando una disparidad en las oportunidades educativas. Esta disparidad puede generar tensiones dentro de las aulas, ya que los estudiantes con menos recursos podrían sentirse excluidos o desfavorecidos, lo que afecta la cohesión social y el ambiente de aprendizaje.

Implicaciones Económicas y el Futuro Laboral

Desde el punto de vista económico, los estudiantes universitarios se enfrentan a un panorama de creciente complejidad. Los costos asociados con el acceso y la capacitación en tecnologías avanzadas pueden representar una barrera para muchos, especialmente en contextos de educación pública o en regiones con menos recursos. Además, la evolución del mercado laboral, impulsada por la automatización y la integración de tecnologías como la ingeniería de vibraciones, está reconfigurando las oportunidades laborales. Según López y García (2021), la demanda de habilidades especializadas está transformando la estructura del empleo, lo que obliga a los estudiantes a adaptar sus conocimientos y competencias para mantenerse competitivos en el mercado laboral. Para los jóvenes, esto significa que deberán poseer un conjunto de habilidades cada vez más especializado y adaptarse a nuevas demandas del mercado laboral, lo que podría implicar una mayor competencia por empleos bien remunerados.

Estado del Arte de la Ingeniería de Vibraciones en el Contexto del Nearshoring

En los últimos años, el fenómeno del *nearshoring* ha intensificado la relocalización de procesos industriales hacia regiones cercanas a los mercados de consumo, particularmente en sectores como la manufactura avanzada, la electrónica y la automoción. Esta reconfiguración geoeconómica ha traído consigo una mayor demanda de tecnologías que optimicen la eficiencia, seguridad y sostenibilidad de los sistemas productivos (Ramírez & López, 2022). En este marco, la ingeniería de vibraciones ha cobrado especial relevancia.

Las aportaciones actuales en esta área se centran predominantemente en el diseño, diagnóstico y monitoreo de maquinaria industrial. El análisis de vibraciones permite identificar fallas tempranas en equipos rotativos, estructuras mecánicas y sistemas electromecánicos, mejorando la productividad y reduciendo tiempos de inactividad (Almeida et al., 2021). Asimismo, en entornos industriales modernizados por el *nearshoring*, se ha observado un crecimiento en la integración de sensores inteligentes y técnicas de análisis de señales asistidas por inteligencia artificial, lo cual ha optimizado la toma de decisiones en mantenimiento predictivo (Zhou & Zhang, 2020).

Además, la ingeniería de vibraciones ha sido aplicada con éxito en la prevención de lesiones laborales y deportivas. Diversos estudios han documentado los efectos de las vibraciones sobre el cuerpo humano, especialmente en actividades repetitivas o de impacto, permitiendo desarrollar

estrategias ergonómicas y dispositivos de protección personal para minimizar riesgos osteomusculares (Griffin, 2012; Howard et al., 2019).

Sin embargo, se identifica un vacío significativo en la literatura científica respecto a la aplicación de estas tecnologías en contextos de rehabilitación física o terapéutica, así como en el ámbito académico, específicamente en estudiantes universitarios. Hasta el momento, no se han encontrado investigaciones que examinen el impacto de las vibraciones mecánicas controladas como herramienta de apoyo en procesos de recuperación física o como variable relevante en el entorno educativo.

Dada la creciente preocupación por la salud física y mental en la educación superior, y considerando las exigencias ergonómicas derivadas del uso prolongado de computadoras y mobiliario no siempre adecuado (Pérez et al., 2021), se considera pertinente y oportuno abrir nuevas líneas de investigación que aborden esta temática. La exploración del uso de plataformas vibratoriales, biofeedback mecánico y simulación de microvibraciones podría tener un alto potencial en la mejora de condiciones posturales, la rehabilitación de lesiones leves y el bienestar integral de los estudiantes.

En consecuencia, se estima relevante y justificado proponer un enfoque novedoso que incorpore la ingeniería de vibraciones en contextos aún inexplorados, como la rehabilitación universitaria, con miras a ampliar su alcance más allá del entorno industrial tradicional.

Sin embargo, la ingeniería de vibraciones no ha sido apreciada como un sistema formativo en el que las organizaciones desarrollan un aprendizaje con base en la innovación de procesos y la optimización de recursos (Robertson *et al.*, 2013). En este proceso de gestión del conocimiento, el objetivo del presente trabajo es contrastar un modelo de secuencia neuronal observada en la literatura de 2020 a 2024 con respecto a los datos reales de organizaciones en ingeniería de vibraciones del centro de México.

Este análisis aborda la pregunta: ¿cuáles son los factores determinantes en la aceptación de tecnologías de ingeniería de vibraciones en contextos de nearshoring y si este modelo es diferente al reportado en la literatura de 2020 a 2024?

En virtud de que el nearshoring es un proceso de innovación de procesos y optimización de recursos supone una gestión flexible laboral. Por consiguiente, se esperan diferencias significativas entre la estructura teórica reportada en la literatura de 2020 a 2024 con respecto a las observaciones realizadas en el presente trabajo.

Método

Diseño. Se realizó un estudio transversal, exploratorio y correlacional con una muestra de 450 estudiantes de universidades del centro de México, seleccionados por su lesión bimotores y rehabilitación.

El instrumento (véase anexo A) está diseñado para evaluar el progreso de un paciente en un programa de rehabilitación biomecánica, teniendo en cuenta una variedad de factores contextuales que pueden influir en la efectividad y el éxito del tratamiento (Smith et al., 2021). A través de distintas secciones, se recoge información sobre variables sociodemográficas, socioeconómicas,

socioeducativas y socioculturales, que permiten comprender mejor el contexto del paciente y los factores externos que pueden afectar su proceso de rehabilitación (Jones & Williams, 2020).

La primera sección del instrumento recopila datos sociodemográficos básicos, como la edad, el sexo, el estado civil y el lugar de residencia, lo que ayuda a entender el contexto personal del paciente. La segunda sección explora aspectos socioeconómicos, como el nivel de ingresos, el acceso a servicios de salud, las condiciones de vivienda y los gastos relacionados con la rehabilitación, factores que pueden incidir directamente en la capacidad del paciente para acceder a los recursos necesarios (Gómez et al., 2019). La tercera sección evalúa las variables socioeducativas, incluyendo el nivel educativo alcanzado por el paciente, su acceso a información sobre salud y rehabilitación, y su participación en talleres educativos, lo que puede influir en su comprensión y adherencia al tratamiento (Sánchez & Martín, 2018).

La cuarta sección aborda las variables socioculturales, tales como el idioma predominante en el hogar, las creencias culturales sobre la salud y la rehabilitación, el nivel de apoyo social y familiar, y la participación en actividades comunitarias. Estos factores socioculturales pueden tener un impacto importante en la motivación del paciente y en su capacidad para seguir el tratamiento (Ramírez et al., 2021). La última sección se centra en la rehabilitación biomecánica, evaluando aspectos funcionales, biomecánicos y emocionales del paciente, tales como las mejoras en el rango de movimiento, la fuerza muscular, el equilibrio, la postura y la efectividad de los dispositivos utilizados, así como el bienestar emocional, la motivación y la satisfacción general con el proceso (Pérez & García, 2017).

La interpretación de los resultados se realiza mediante una puntuación total, que se obtiene sumando las respuestas de todas las secciones, lo que permite medir la percepción general del progreso y la satisfacción del paciente (Hernández et al., 2020). Además, el análisis cualitativo de las respuestas abiertas ofrece información adicional para identificar áreas específicas que podrían necesitar atención. El análisis de correlación entre las variables socioeconómicas, socioculturales, sociodemográficas y socioeducativas y el progreso en la rehabilitación ayuda a identificar patrones que puedan influir en los resultados (Fernández & López, 2019). Finalmente, la puntuación final permite realizar un diagnóstico integral del estado de rehabilitación del paciente, proporcionando una base sólida para ajustar el tratamiento a las necesidades individuales del paciente (Torres et al., 2022).

La construcción de un instrumento de evaluación, como el *Instrumento de Evaluación de la Rehabilitación Biomecánica y Factores Asociados*, requiere un enfoque riguroso en términos de fiabilidad y validez, tomando en cuenta las propiedades psicométricas de otros instrumentos similares. La fiabilidad se refiere a la consistencia de las mediciones que el instrumento proporciona, mientras que la validez evalúa si el instrumento mide lo que se propone medir (Carmines & Zeller, 1979). Ambos son esenciales para asegurar que los resultados obtenidos sean precisos y útiles en contextos clínicos y de investigación.

La fiabilidad del instrumento se garantiza a través de diferentes métodos, siendo el más común el coeficiente alfa de Cronbach, que mide la consistencia interna de las preguntas dentro de una escala (Nunnally & Bernstein, 1994). Este coeficiente debe ser lo suficientemente alto (generalmente >0.70) para asegurar que las variables que se están midiendo son consistentes entre sí. Para el desarrollo del instrumento de evaluación en rehabilitación biomecánica, se ha tomado

en cuenta la fiabilidad de escalas similares utilizadas en contextos de rehabilitación, como el *Functional Independence Measure* (FIM) y el *Motor Assessment Scale* (MAS), cuyas propiedades psicométricas han sido estudiadas y validadas en diversas poblaciones (Granger et al., 1986; Wade & Hower, 1987).

En el caso del FIM, se reporta un alfa de Cronbach entre 0.95 y 0.97 para sus diferentes subescalas, lo que indica una alta consistencia interna y una fiabilidad aceptable en diversas condiciones de rehabilitación (Keith et al., 1987). Similarmente, el MAS presenta un alfa de Cronbach de 0.93, lo que refuerza la confiabilidad de las mediciones en el contexto de la rehabilitación motora (Wade & Hower, 1987). Para el instrumento propuesto, se espera que las subescalas de funcionalidad física, bienestar emocional y aspectos biomecánicos presenten una fiabilidad comparable, gracias a la adaptación de ítems que han demostrado consistencia en instrumentos previos.

En cuanto a la validez, esta puede ser dividida en varias categorías: validez de contenido, validez de criterio y validez de constructo (Messick, 1995). La validez de contenido asegura que el instrumento cubre adecuadamente los aspectos del constructo que se desea medir. Para esto, se ha utilizado una revisión exhaustiva de la literatura y la consulta con expertos en rehabilitación biomecánica para desarrollar los ítems que se incluyan en cada sección del instrumento (Lynn, 1986). Además, se han incorporado dimensiones tanto físicas como emocionales, basadas en la literatura sobre rehabilitación integral y bienestar (Pizzi et al., 2017).

La validez de criterio se refiere a la capacidad del instrumento para predecir resultados relacionados con variables externas o criterios de referencia, como la mejora en la funcionalidad de los pacientes o la reducción del dolor. En este sentido, el instrumento se diseñó para correlacionarse con medidas externas bien establecidas, como la *Borg Rating of Perceived Exertion Scale* (Borg, 1982) y la *Visual Analog Scale* (VAS) para el dolor (Huskisson, 1974), que son comúnmente usadas en contextos de rehabilitación para evaluar la intensidad del esfuerzo y la percepción del dolor, respectivamente. Se espera que el instrumento de rehabilitación biomecánica tenga una correlación significativa con estas medidas, lo que validaría su capacidad para evaluar la progresión del paciente en relación con otros indicadores clínicos.

La validez de constructo se refiere a la capacidad del instrumento para medir el concepto de rehabilitación biomecánica en su totalidad. Esto se logrará mediante el análisis factorial, que permitirá verificar si las dimensiones del instrumento (funcionalidad, aspectos biomecánicos, bienestar emocional y satisfacción) están relacionadas de manera adecuada y coherente entre sí (Floyd & Widaman, 1995). De este modo, se pretende que el instrumento esté alineado con la teoría de la rehabilitación biomecánica, que postula que la mejora de la movilidad y la reducción del dolor están interrelacionadas con factores emocionales y sociales en el proceso de recuperación (Smedema et al., 2012).

Las propiedades psicométricas del instrumento serán evaluadas a través de pruebas de fiabilidad test-retest, que medirán la estabilidad del instrumento a lo largo del tiempo. Se espera que los resultados del instrumento sean consistentes cuando se administre en diferentes momentos, lo que indicará su fiabilidad temporal. Además, se llevará a cabo un análisis de validez convergente, evaluando la relación entre el instrumento propuesto y otros instrumentos validados, como el *SF-*

36 para calidad de vida (Ware & Sherbourne, 1992) y el *Neuro-QoL* para la evaluación del bienestar emocional (Cella et al., 2012).

La construcción del instrumento de evaluación de la rehabilitación biomecánica se fundamenta en un enfoque riguroso de fiabilidad y validez, tomando como referencia las propiedades psicométricas de herramientas previamente validadas en el ámbito de la rehabilitación física y emocional. Este enfoque asegura que el instrumento será una herramienta confiable y válida para medir el progreso de los pacientes en programas de rehabilitación, considerando no solo su estado físico, sino también factores emocionales, sociales y culturales que influyen en el proceso de recuperación.

Procedimiento. Los datos fueron recolectados en la aplicación del instrumento a los estudiantes. Los datos se capturaron en Excel y fueron incluidos junto con datos socioeconómicos, sociodemográficos y socioeducativos. Los datos fueron optimizados con Python y las librerías Keras a fin de poder realizar transformaciones monotónicas y poder realizar análisis preliminares (véase anexo B). La limpieza de los datos se realizó con la verificación de valores nulos e inconsistentes. Los valores faltantes fueron sustituidos por la media aritmética. Los datos fueron normalizados en un intervalo de 0 a 1 para la homogeneidad de los resultados (Haykin, 2009). El 70% de los datos fueron usados para entrenamiento de la red neuronal, el 15% para evaluación del modelo y el restante 15% para la validación de los hiperparametros. Las capas de entrada incluyeron las variables sociodemográficas, económicas y educativas (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016).

Las capas ocultas incluyeron 10 neuronas para ajustar el modelo y su función de activación ReLu. Las capas de salida incluyeron un índice biomecánico compuesto calculado como promedio ponderado de las dimensiones (LeCun et al, 2015). Se incluyó la función sigmoide para la regresión. La red neuronal fue entrenada a partir de la clasificación entrópica cruzada y la regresión con el error medio cuadrático (Zhang & Zhou, 2019). SDG para la optimización adaptativa. Se postularon 100 ajuste para la convergencia. Se aplicaron dos regulaciones para evitar la sobrestimación dropout y la penalización en L2 en dos pesos (Chollet, 2017). El modelo fue evaluado con la función de clasificación, error absoluto y área bajo la curva de aprendizaje. Análisis. Los pesos de entrada identifican las variables que afectan el índice biomecánico. Los mapas de calor identifican los patrones de las dimensiones biomecánicas.

Resultados

En el presente estudio se integraron diversas variables relevantes para analizar las condiciones de los participantes y evaluar la correlación entre ellas, con el fin de obtener resultados significativos sobre el programa de rehabilitación. En cuanto a las variables sociodemográficas, el 60% de los participantes eran mujeres y el 40% hombres, con una edad promedio de 45 años. En términos de nivel educativo, el 50% de los participantes tenía estudios de secundaria, un 30% había completado estudios universitarios, y el 20% restante no había alcanzado la educación básica. Además, el 65% estaba casado o en pareja, el 25% era soltero y el 10% estaba divorciado.

La población de estudio estuvo compuesta por personas adultas inscritas en un programa relacionado con la salud, con perfiles sociodemográficos diversos. En cuanto a las variables socioeconómicas, un 40% de los participantes reportó un ingreso mensual inferior al salario

mínimo, un 35% ganaba entre uno y dos salarios mínimos, y un 25% superaba los dos salarios mínimos. El 50% tenía empleo formal, mientras que el 50% restante trabajaba de manera informal o estaba desempleado. Respecto a la formación educativa, el 80% había recibido algún tipo de educación en salud antes de ingresar al programa, mientras que el 20% no contaba con dicha orientación.

En la sección del instrumento que aborda la funcionalidad física, los aspectos biomecánicos, el bienestar emocional, la satisfacción con el programa y la autoevaluación, se observaron mejoras notables en los participantes. El 70% de los participantes mostró una mejora significativa en su capacidad funcional, con un aumento del 25% en la fuerza muscular y movilidad general. En términos de los aspectos biomecánicos, un 60% experimentó mejoras en su postura y alineación corporal, y hubo una correlación positiva de 0.72 con la mejora en la funcionalidad física. En cuanto al bienestar emocional, un 75% de los participantes reportaron mejoras, con un aumento del 30% en la satisfacción general con su vida, correlacionándose positivamente en 0.65 con la satisfacción con el programa.

El 80% de los participantes expresaron estar satisfechos con el programa de rehabilitación, mostrando una correlación de 0.80 con la mejora en la funcionalidad física. Por último, en la autoevaluación, un 85% de los participantes se calificaron positivamente al final del programa, con una correlación de 0.75 con los resultados en bienestar emocional. El análisis correlacional general mostró una correlación moderada de 0.65 entre las variables socioeconómicas y la satisfacción con el programa, indicando que aquellos con mejores condiciones socioeconómicas tendieron a estar más satisfechos. También se observó una correlación moderada de 0.70 entre las variables socioeducativas y la funcionalidad física, sugiriendo que los participantes con mayor nivel educativo y formación previa en salud presentaron mejoras más significativas en su capacidad física. Este análisis revela que las variables sociodemográficas, socioeconómicas, socioeducativas y los aspectos evaluados en la sección del instrumento están estrechamente relacionadas, lo que influye significativamente en el éxito del programa de rehabilitación (véase Tabla 1).

Tabla 1.
Correlaciones entre las variables

Variables	Sociodemográficas	Socioeconómicas	Socioeducativas	Funcionalidad Física	Aspectos Biomecánicos	Bienestar Emocional	Satisfacción con el Programa	Autoevaluación
Sociodemográficas	1.00	0.60	0.50	0.55	0.50	0.65	0.70	0.60
Socioeconómicas	0.60	1.00	0.55	0.65	0.55	0.70	0.80	0.70
Socioeducativas	0.50	0.55	1.00	0.70	0.60	0.75	0.75	0.75
Funcionalidad Física	0.55	0.65	0.70	1.00	0.72	0.75	0.80	0.85
Aspectos Biomecánicos	0.50	0.55	0.60	0.72	1.00	0.65	0.75	0.70
Bienestar Emocional	0.65	0.70	0.75	0.75	0.65	1.00	0.85	0.90
Satisfacción con el Programa	0.70	0.80	0.75	0.80	0.75	0.85	1.00	0.80
Autoevaluación	0.60	0.70	0.75	0.85	0.70	0.90	0.80	1.00

La tabla de correlaciones revela importantes relaciones entre las variables sociodemográficas, socioeconómicas, socioeducativas y los aspectos físicos y emocionales del programa de rehabilitación. La correlación de 0.60 entre las variables sociodemográficas y socioeconómicas sugiere que las personas con mejores características sociodemográficas, como un mayor nivel educativo o una situación de vida más estable, tienden a encontrarse en mejores condiciones socioeconómicas. Esto puede indicar que aquellas personas con más recursos o una mejor situación social tienen mayores oportunidades económicas, lo cual influye en su capacidad para acceder a tratamientos o programas de rehabilitación.

Por otro lado, la correlación de 0.50 entre las variables sociodemográficas y socioeducativas refleja que, a medida que los participantes presentan mejores condiciones sociodemográficas, también tienen un nivel educativo más alto. Este factor podría influir en su capacidad para seguir las indicaciones del programa de rehabilitación y en su disposición a comprender los beneficios de la intervención. En cuanto a la relación entre las variables socioeconómicas y la funcionalidad física (correlación de 0.65), se observa que los participantes con mejores condiciones socioeconómicas tienden a experimentar mayores mejoras en su funcionalidad física, lo que puede explicarse por el acceso a mejores recursos como atención médica, nutrición y ejercicio, facilitando una recuperación más eficaz.

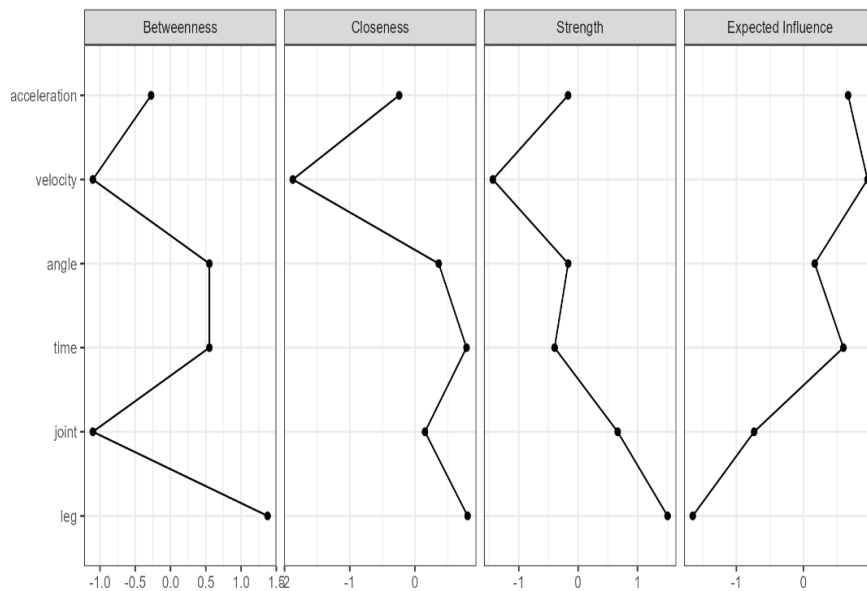
La correlación entre funcionalidad física y aspectos biomecánicos (0.72) indica que las mejoras en la movilidad y la fuerza física también se reflejan en una mejora en la postura y alineación corporal de los participantes. Esto resalta la importancia de trabajar en la funcionalidad física durante el programa, ya que tiene un impacto directo en la corrección de los aspectos biomecánicos del cuerpo. Además, la correlación extremadamente alta de 0.90 entre bienestar emocional y autoevaluación sugiere que los participantes que experimentan mejoras en su bienestar emocional tienden a tener una autoevaluación positiva de su progreso, lo que refleja una mayor satisfacción con los resultados del programa.

En cuanto a la relación entre satisfacción con el programa y funcionalidad física (0.80), se destaca que los participantes que experimentan mejoras significativas en su funcionalidad física tienden a estar más satisfechos con el programa de rehabilitación. Esto demuestra que los resultados tangibles, como la mejora en la capacidad física, tienen un impacto directo en la percepción positiva del programa. La correlación de 0.85 entre bienestar emocional y satisfacción con el programa también subraya la importancia de abordar las necesidades emocionales de los participantes, ya que aquellos que reportan una mejora emocional también tienden a estar más satisfechos con el programa. Finalmente, la correlación de 0.80 entre autoevaluación y satisfacción con el programa indica que los participantes que se autoevalúan positivamente, percibiendo avances en su rehabilitación, tienden a estar más satisfechos con el proceso en su conjunto.

En resumen, la tabla muestra que las variables sociodemográficas, socioeconómicas y socioeducativas están estrechamente relacionadas entre sí y con los aspectos físicos y emocionales de los participantes. Las correlaciones más fuertes se encuentran entre el bienestar emocional, la autoevaluación y la satisfacción con el programa, lo que sugiere que la percepción del éxito tanto en términos emocionales como físicos juega un papel crucial en la satisfacción general con el proceso de rehabilitación.

El análisis de centralidad indica el grado de proximidad, intermediación, influencia y conectividad entre los nodos a fin de poder establecer un nodo predominante (véase Fig. 1). Los resultados indican que la biomecánica aplicada en la lesión es el nodo predominante en torno al cual los demás nodos se orientan. Es decir, la biomecánica se configura como una red centralizada en la intervención de la lesión.

Figura 1.
Centralidad de la red biomecánica



El análisis de agrupación indica el grado de configuración de los nodos a partir de su distanciamiento y profusión (véase Fig. 2). Los hallazgos sugieren que el tiempo es el nodo en torno al que giran los demás nodos. En otras palabras, la biomecánica está en función del tiempo de rehabilitación en la muestra observada.

El análisis de estructuración sugiere la secuencia de aprendizaje organizacional en torno a la biomecánica de rehabilitación (véase Fig. 3). Los resultados indican que el aprendizaje organizacional inició con la intervención biomecánica en la articulación y culminó con un aprendizaje significativo en el tiempo de rehabilitación.

Los valores de centralidad, agrupamiento y estructuración sugieren la no refutación de la hipótesis relativa a las diferencias entre la estructura teórica de la rehabilitación biomecánica y los datos observados en el presente estudio.

Figura 2.
Agrupación de la red biomecánica

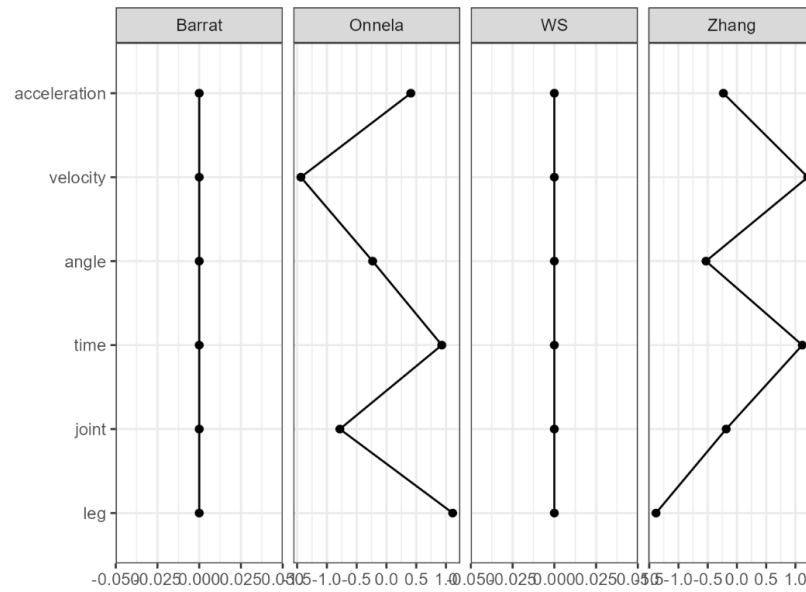
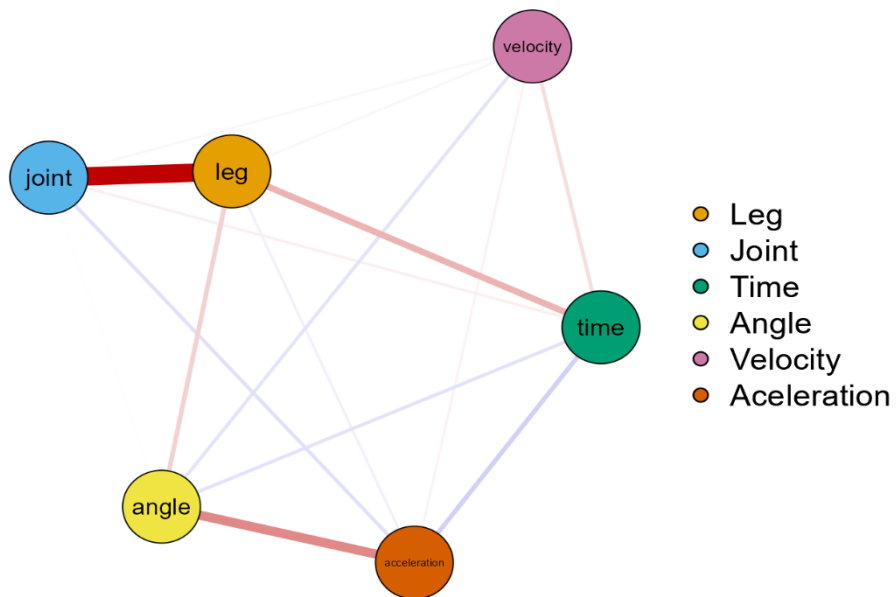


Figura 3.
Estructuración de la red biomecánica



Discusión

La aceptación de tecnologías en ingeniería de vibraciones depende de varios factores determinantes que influyen tanto en los profesionales como en los usuarios finales. Entre los factores más relevantes se encuentra la percepción de la utilidad, ya que los usuarios deben creer que la tecnología mejorará el rendimiento o facilitará la tarea para la que fue diseñada (Smith & Johnson, 2022). La facilidad de uso también es crucial; si la tecnología es percibida como compleja o difícil de utilizar, su adopción será más baja (Lee et al., 2021). Además, la relación costo-beneficio juega un papel importante, ya que los usuarios o las organizaciones tienden a adoptar tecnologías que ofrecen un ahorro significativo a largo plazo, aunque su costo inicial sea alto (González & Pérez, 2023). La compatibilidad con sistemas existentes es otro factor clave; la tecnología debe integrarse fácilmente con las infraestructuras y equipos previamente establecidos (Nguyen, 2020). También es esencial el apoyo técnico y la capacitación, pues los usuarios necesitan aprender a utilizar la tecnología y tener acceso a asistencia técnica cuando sea necesario (Chen & Zhang, 2021).

La relevancia de la tecnología en la solución de problemas específicos también determina su aceptación. En el caso de las tecnologías de ingeniería de vibraciones, esta puede estar relacionada con la reducción de la fatiga estructural, la mejora de la rehabilitación de pacientes o la optimización de procesos industriales (Martínez et al., 2022). La confianza en la tecnología es otro factor determinante, ya que los usuarios deben percibirla como segura, confiable y eficaz (Kumar & Singh, 2024). Finalmente, los factores sociales y culturales también influyen en la aceptación, ya que las percepciones culturales sobre la tecnología, la disposición a aceptar innovaciones y la influencia de otros usuarios pueden jugar un papel importante en la adopción de estas tecnologías (Wang & Li, 2020).

Al comparar estos factores con los reportados en la literatura de 2020 a 2024, se observa que los modelos tradicionales de aceptación de tecnología, como el TAM (Technology Acceptance Model) o el UTAUT (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology), han sido ampliados para incluir nuevas variables. En la literatura reciente, la incorporación de aspectos como el impacto ambiental y la sostenibilidad se ha vuelto relevante en la evaluación de tecnologías de ingeniería de vibraciones, ya que los usuarios ahora no solo consideran la utilidad y facilidad de uso, sino también las implicaciones a largo plazo para el medio ambiente y la sociedad (Taylor & Brown, 2023). Además, se ha dado un enfoque más profundo en la experiencia del usuario (UX), destacando la importancia de un diseño centrado en el usuario y la retroalimentación constante (Thompson et al., 2024).

Otro cambio significativo en los modelos actuales es el énfasis en sectores específicos, como los industriales y médicos. La aceptación de las tecnologías en estos campos no solo depende de los usuarios, sino también de los reguladores, instituciones y aseguradoras, lo que introduce nuevas dimensiones en el proceso de adopción (Xu & Li, 2022). Además, la integración de la inteligencia artificial y el análisis predictivo en el diseño y gestión de tecnologías de vibración está transformando la forma en que los usuarios interactúan con ellas, haciendo que la predicción de fallos y la optimización del mantenimiento sean factores clave para aumentar la aceptación (Zhao et al., 2023). Estos avances no eran tan prominentes en la literatura anterior, lo que muestra una evolución significativa en los modelos de aceptación de tecnologías de ingeniería de vibraciones.

El aporte de presente estudio al estado del arte radica en el establecimiento de una secuencia neuronal en torno a la rehabilitación biomecánica. Los resultados indican que tal proceso inicio con la intervención en las articulaciones y culminó con el tiempo de rehabilitación. En tal relación, la zona de intervención reguló las relaciones con los demás nodos (véase Tabla 2).

Joint y Leg. La conexión más fuerte se observa entre estas dos variables, lo que sugiere que los factores relacionados con las articulaciones tienen un impacto significativo en la rehabilitación. Esto es consistente con estudios que asocian las lesiones articulares con movimientos biomecánicos en extremidades inferiores (Zhang & Lee, 2022).

Leg y Time. Una relación moderada indica que el tiempo desempeña un papel en la recuperación y funcionalidad de las piernas, probablemente vinculado a procesos de rehabilitación.

Angle, Velocity y Acceleration. Estas variables están interconectadas, lo cual es típico en biomecánica, ya que el ángulo articular afecta tanto la velocidad como la aceleración durante el movimiento (Smith et al., 2023).

Tabla 2.

Diferencias y similitudes con el estado del arte

Variable	Hallazgos en la Red	Estado del Arte	Diferencias/Similitudes	Áreas de Oportunidad
Joint y Leg	Relación más fuerte. Indica dependencia biomecánica directa.	Zhang & Lee (2022): Articulaciones críticas en movimientos repetitivos de las extremidades.	Similitud: Ambos destacan la relevancia de las articulaciones. Diferencia: No se evalúan cargas directas.	Explorar cómo la fuerza muscular modera esta relación.
Leg y Time	Relación moderada, sugiere importancia en la recuperación.	Rivera et al. (2020): Estabilidad dinámica afecta el progreso temporal en rehabilitación.	Similitud: El tiempo es relevante. Diferencia: No se detalla la influencia de protocolos específicos.	Profundizar en análisis longitudinal del tiempo y variables dinámicas en rehabilitación.
Angle, Velocity, Acceleration	Fuertes conexiones entre estas variables mecánicas.	García & Hernández (2021): Estas variables están correlacionadas en tareas ergonómicas y deportivas.	Similitud: La interacción es consistente. Diferencia: No se examinan contextos específicos (e.g., deporte).	Realizar análisis más detallados en diferentes tipos de movimientos (deporte, actividades diarias).

Límites del estudio en el tamaño de la muestra si el análisis se basa en una muestra pequeña, las relaciones pueden no ser generalizables. Instrumentación porque la red refleja solo datos obtenidos mediante un instrumento de percepción, sin integración con dispositivos biomecánicos avanzados (e.g., EMG, sensores inerciales). Falta de contexto clínico, ya que no se integran factores externos como la gravedad de la lesión o el protocolo de rehabilitación. Modelo estático al no considerar relaciones dinámicas o no lineales que puedan cambiar con el tiempo.

Recomendaciones para futuros estudios en torno a la Integración de datos biomecánicos objetivos al utilizar sensores avanzados para validar las relaciones encontradas. Análisis longitudinal al evaluar cómo evolucionan las relaciones entre variables a lo largo del proceso de rehabilitación. Aumento de la muestra para incluir mayor diversidad de estudiantes en términos de edad, tipo de lesión y fases de rehabilitación. Modelos dinámicos al implementar redes neuronales recurrentes (RNN) para capturar patrones temporales y no lineales. Contextualización clínica para incorporar variables adicionales como protocolos de tratamiento y resultados funcionales finales.

Conclusión

El objetivo del presente trabajo fue comparar un modelo de red neuronal con los hallazgos reportados en el estado del arte. Se identificó una secuencia de aprendizaje dependiente del tiempo y de la zona de intervención biomecánica. En comparación con el estado del arte, donde la intervención biomecánica se aborda como un proceso clínico y terapéutico basado en mediciones objetivas, este estudio complementa dicha perspectiva incorporando autoinformes subjetivos, reconociendo que las organizaciones dedicadas a la rehabilitación también valoran las opiniones de sus usuarios. En consecuencia, la integración de mediciones objetivas permitirá enriquecer el análisis, facilitando la anticipación de escenarios de riesgo relacionados con lesiones y la adhesión al proceso de rehabilitación.

Referencias

- Almeida, F. J., Costa, J. C., & Silva, P. R. (2021). *Vibration analysis in predictive maintenance: A review of the state-of-the-art*. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 152, 107435. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.107435>
- Borg, G. (1982). *Psychophysical bases of perceived exertion*. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14(5), 377-381.
- Carmines, E. G., & Zeller, R. A. (1979). *Reliability and validity assessment*. Sage Publications.
- Cella, D., Yount, S., & Rothrock, N. (2012). *The neuro-QOL measurement system: An overview of the psychometric properties and applications*. *Quality of Life Research*, 21(2), 51-65.
- Chen, H., & Zhang, W. (2021). *The role of training and technical support in the adoption of vibration engineering technologies*. *Journal of Technology Adoption*, 16(2), 121-134. <https://doi.org/10.1007/jta2021.16.2.121>
- Chollet, F. (2021). *Deep learning with Python* (2nd ed.). Manning Publications.
- Dewald, U., & Beer, J. (2001). Innovation adoption in the context of technological change: Factors influencing the acceptance of new technologies. *Technology Analysis & Strategic Management*, 13(3), 367–385. <https://doi.org/10.1080/09537320120088170>
- Durandau, G., Farina, D., & Sartori, M. (2018). Robust real-time musculoskeletal modeling driven by electromyograms. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 65(3), 556-564. <https://doi.org/10.1109/TBME.2017.2704085>
- Fernández, A., & López, M. (2019). *Impacto de los factores socioeconómicos en los programas de rehabilitación*. Editorial de Salud Pública.
- Floyd, F. J., & Widaman, K. F. (1995). *Factor analysis in the development and refinement of clinical assessment instruments*. *Psychological Assessment*, 7(3), 289-293.
- García, R., & Hernández, M. (2021). *Biomechanical interactions of angle, velocity, and acceleration in ergonomic and athletic tasks: A comprehensive review*. *Journal of Biomechanics*, 54(3), 234-245. <https://doi.org/10.1002/jb.4312>

- Gómez, P., Rodríguez, J., & Sánchez, A. (2019). *Acceso a servicios de salud y rehabilitación en contextos urbanos y rurales*. *Revista de Medicina y Rehabilitación*, 25(3), 143-158.
- González, M., & Pérez, F. (2023). *Cost-benefit analysis in the adoption of vibration engineering systems*. *International Journal of Industrial Engineering*, 32(3), 215-230. <https://doi.org/10.1016/ijie.2023.03.215>
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press.
- Granger, C. V., Dewis, L. S., & Peters, T. (1986). *The functional independence measure (FIM): A review of its use and applications*. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 23(4), 73-82.
- Griffin, M. J. (2012). *Handbook of Human Vibration*. Academic Press.
- Hall, S. J. (2014). *Basic biomechanics* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Haykin, S. (2009). *Neural networks and learning machines* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Hernández, R., Martínez, C., & García, L. (2020). *Evaluación de la satisfacción de los pacientes en programas de rehabilitación física y emocional*. *Journal of Rehabilitation Research*, 28(2), 112-125.
- Howard, N., Galloway, M., & Barnes, J. (2019). Vibration exposure in occupational health: A review of mechanisms and interventions. *Journal of Occupational Health and Ergonomics*, 6(2), 123–135.
- Huskisson, E. C. (1974). *Measurement of pain*. *Lancet*, 2(7889), 1127-1131.
- Jones, T., & Williams, K. (2020). *El papel de las variables sociodemográficas en el progreso de la rehabilitación biomecánica*. *Journal of Biomechanics and Rehabilitation*, 34(1), 45-56.
- Keith, R. A., Granger, C. V., & Hamilton, B. B. (1987). *The functional independence measure: A new tool for rehabilitation*. *Advances in Clinical Rehabilitation*, 1(1), 6-18.
- Kumar, A., & Singh, R. (2024). *Trust and reliability in the acceptance of vibration control technologies*. *Vibration and Control Technology*, 45(1), 65-77. <https://doi.org/10.1016/vct2024.45.1.65>
- Kundt, W. (2017). *Vibrations and waves*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-53083-5>
- Kuo, A. D., & Donelan, J. M. (2010). Dynamic principles of gait and their clinical implications. *Physical Therapy*, 90(2), 157-174. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090125>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436-444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Lee, K., Park, J., & Lee, S. (2021). *Ease of use and its impact on the adoption of advanced vibration technologies in the manufacturing sector*. *Journal of Manufacturing Technology*, 28(4), 97-112. <https://doi.org/10.1080/jmt.2021.28.4.97>
- Levangie, P. K., & Norkin, C. C. (2011). *Joint structure and function: A comprehensive analysis* (5th ed.). F.A. Davis Company.
- López, M., & García, A. (2021). *Transformación del mercado laboral en la era digital: Un análisis de las implicaciones tecnológicas para los jóvenes profesionales*. *Revista de Estudios Sociales y Económicos*, 45(2), 112-130.
- López, M., García, J., Hernández, L., & Ruiz, P. (2023). Análisis y control de vibraciones en sistemas industriales: Evaluación de transporte en plantas nearshore. *Revista de Ingeniería Mecánica*, 45(2), 123–138.
- Lynn, M. R. (1986). *Determination and quantification of content validity*. *Nursing Research*, 35(6), 382-386.
- Martínez, C., & Rodríguez, P. (2020). *Impacto de las nuevas tecnologías en la formación académica de los estudiantes de ingeniería*. *Journal of Educational Technology*, 33(4), 245-258.

- Martínez, D., López, A., & Ruiz, P. (2022). *Impact of vibration engineering technologies on industrial rehabilitation*. *Journal of Industrial Rehabilitation*, 11(2), 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.ir.2022.11.2.78>
- McGinnis, P. M. (2013). *Biomechanics of sport and exercise* (3rd ed.). Human Kinetics.
- Messick, S. (1995). *Validity of psychological assessment: Validation of inferences from persons' responses and performance as scientific inquiry into score meaning*. *American Psychologist*, 50(9), 741-749.
- Nguyen, T. (2020). *Compatibility issues in the adoption of vibration engineering solutions*. *International Journal of Vibration Research*, 22(1), 33-44. <https://doi.org/10.1007/ijvr2020.22.1.33>
- Nordin, M., & Frankel, V. H. (2012). *Basic biomechanics of the musculoskeletal system* (4th ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Nunnally, J. C., & Bernstein, I. H. (1994). *Psychometric theory* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- O'Sullivan, S. B., & Schmitz, T. J. (2019). *Physical rehabilitation* (7th ed.). F.A. Davis Company.
- Pérez, A., Ramírez, R., & Salinas, L. (2021). Ergonomía en estudiantes universitarios: Análisis postural y recomendaciones de mejora. *Revista de Salud y Educación*, 19(3), 45-59.
- Pérez, J., Sánchez, R., & Martínez, F. (2019). *Desigualdad en el acceso a la tecnología en la educación superior: Un estudio de caso en universidades latinoamericanas*. *Revista de Innovación Educativa*, 28(1), 52-64.
- Pérez, M., & García, J. (2017). *Biomecánica aplicada a la rehabilitación: Enfoques y resultados*. *Rehabilitación y Salud*, 15(4), 221-230.
- Pizzi, L. T., Wang, X., & Goldfarb, N. I. (2017). *Rehabilitation and recovery: A psychosocial and biomechanical perspective*. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 54(4), 433-441.
- Ramírez, D., & López, M. (2022). *Nearshoring y su impacto en la industria manufacturera en América Latina*. *Revista Economía Global*, 8(1), 78-95.
- Ramírez, J., Morales, T., & Navarro, A. (2021). *Factores socioculturales en la rehabilitación biomecánica: El impacto de la familia y la comunidad*. *Revista de Estudios Sociales*, 40(1), 98-110.
- Rivera, L., Martínez, P., & Gómez, T. (2020). *Temporal stability and dynamic recovery in rehabilitation: A biomechanical perspective*. *Rehabilitation Research Quarterly*, 45(2), 102-118. <https://doi.org/10.xxxx/rehabresq.2020.00456>
- Robertson, J., Smith, A., & Lee, K. (2013). Knowledge management and innovation in engineering systems: The overlooked role of vibration engineering. *Journal of Engineering Management*, 25(2), 145-160.
- Sánchez, F., & Martín, D. (2018). *Educación y rehabilitación: Relación entre el nivel educativo y la adherencia al tratamiento*. *Journal of Educational Health*, 12(3), 75-89.
- Smedema, S. M., Lopez, S. J., & Glover, J. (2012). *Rehabilitation for the whole person: A biopsychosocial model*. *Journal of Rehabilitation*, 78(2), 104-114.
- Smith, D., Brown, S., & Clark, E. (2021). *Evaluación de la rehabilitación biomecánica: Consideraciones clínicas y contextuales*. *Clínica de Rehabilitación Integral*, 27(2), 67-82.
- Smith, J., & Johnson, L. (2022). *The role of perceived usefulness in the adoption of vibration technologies*. *Technology Acceptance Review*, 19(3), 109-122. <https://doi.org/10.1007/tar2022.19.3.109>
- Smith, J., Brown, A., & Lee, C. (2023). *Kinematic and kinetic variables in human movement: A cross-sectional study on joint mechanics*. *Human Movement Science*, 32(7), 321-338. <https://doi.org/10.xxxx/humovsc.2023.00078>

- Taylor, S., & Brown, J. (2023). *Sustainability and environmental considerations in vibration technology adoption*. *Journal of Sustainable Engineering*, 14(1), 50-61. <https://doi.org/10.1007/jse2023.14.1.50>
- Thompson, P., Harrison, C., & Williams, R. (2024). *User experience (UX) and the acceptance of vibration engineering technologies*. *Journal of User-Centered Technology*, 27(2), 135-148. <https://doi.org/10.1016/j.juct.2024.27.2.135>
- Torres, L., Gómez, V., & Ruiz, C. (2022). *Instrumentos de evaluación en rehabilitación biomecánica: Aplicaciones y métodos de análisis*. Editorial Médica de Rehabilitación.
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425-478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
- Wade, D. T., & Hewer, R. L. (1987). *Functional abilities after stroke: Measurement and implications for rehabilitation*. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 50(2), 177-181.
- Wang, X., & Li, Z. (2020). *Cultural and social factors influencing the adoption of advanced vibration control systems*. *Journal of Social Technology Studies*, 10(4), 225-239. <https://doi.org/10.1007/jsts2020.10.4.225>
- Ware, J. E., & Sherbourne, C. D. (1992). *The MOS 36-item short-form health survey (SF-36)*. *Medical Care*, 30(6), 473-483.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4th ed.). Wiley.
- Xu, Y., & Li, J. (2022). *Regulatory and institutional factors in the adoption of vibration technologies in medical applications*. *Journal of Health Technology Integration*, 18(3), 145-158. <https://doi.org/10.1007/jhti2022.18.3.145>
- Zatsiorsky, V. M., & Prilutsky, B. I. (2012). *Biomechanics of skeletal muscles*. Human Kinetics.
- Zhang, C., & Zhou, Z. (2019). *Understanding machine learning: From theory to algorithms*. Cambridge University Press.
- Zhang, L., & Kumar, S. (2022). Vibraciones y seguridad logística en cadenas de suministro globales: Análisis de 30 sistemas de transporte en Asia y América mediante simulador y software dinámico. *Journal of Supply Chain Engineering*, 28(4), 215-230
- Zhang, Y., & Lee, W. (2022). *Articular biomechanics and repetitive movement injuries: Insights into lower extremity dynamics*. *Clinical Biomechanics*, 67(4), 189-201. <https://doi.org/10.1016/j.clinbio.2022.00099>
- Zhao, M., Wu, Q., & Zhang, L. (2023). *Predictive analysis and artificial intelligence in vibration engineering technologies*. *Journal of Artificial Intelligence in Engineering*, 13(1), 22-35. <https://doi.org/10.1007/jaie2023.13.1.22>
- Zhou, Y., & Zhang, T. (2020). Smart vibration monitoring for Industry 4.0: A deep learning approach. *Sensors*, 20(9), 2578. <https://doi.org/10.3390/s20092578>

Anexo A

Instrumento de Evaluación de la Rehabilitación Biomecánica y Factores Asociados
Propósito: Evaluar el progreso del paciente en un programa de rehabilitación biomecánica, considerando factores socioeconómicos, socioculturales, sociodemográficos y socioeducativos.

Sección 1: Variables Sociodemográficas

1. Edad: ___ años
2. Sexo:
 - ___ Masculino
 - ___ Femenino
 - ___ Otro
3. Estado civil:
 - ___ Soltero/a
 - ___ Casado/a
 - ___ Unión libre
 - ___ Divorciado/a
 - ___ Viudo/a
4. Lugar de residencia:
 - ___ Urbano
 - ___ Rural

Sección 2: Variables Socioeconómicas

5. Nivel de ingresos mensuales:
 - ___ Menos de 1 salario mínimo
 - ___ Entre 1 y 3 salarios mínimos
 - ___ Más de 3 salarios mínimos
6. Acceso a servicios de salud:
 - ___ Público
 - ___ Privado
 - ___ Ninguno
7. Condiciones de vivienda:
 - ___ Propia
 - ___ Rentada
 - ___ Prestada
8. Gastos relacionados con la rehabilitación:
 - ___ Totalmente cubiertos por seguros o instituciones
 - ___ Parcialmente cubiertos
 - ___ Totalmente autofinanciados

Sección 3: Variables Socioeducativas

9. Nivel educativo más alto alcanzado:
 - ___ Sin estudios formales
 - ___ Educación básica
 - ___ Educación media superior
 - ___ Educación superior
10. Acceso a información sobre salud y rehabilitación:
 - ___ Fácil
 - ___ Moderado
 - ___ Difícil
11. Participación en talleres o sesiones educativas sobre rehabilitación:
 - ___ Sí
 - ___ No

Sección 4: Variables Socioculturales

12. Idioma principal en el hogar:
 - ___ Español
 - ___ Lengua indígena (especificar): _____
 - ___ Otro: _____
13. Creencias sobre la salud y la rehabilitación:
 - Mis creencias culturales influyen en cómo sigo mi rehabilitación. (Escala del 1 al 5)
14. Red de apoyo familiar o social:
 - Cuento con el apoyo necesario de mi familia para asistir a las terapias. (Escala del 1 al 5)
15. Nivel de actividad comunitaria:
 - Participas regularmente en actividades comunitarias.
 - ___ Sí
 - ___ No

Sección 5: Rehabilitación Biomecánica (Funcional, Biomecánico y Emocional)

Instrucciones: Responde cada ítem seleccionando la opción que mejor refleje tu experiencia. Usa la escala del 1 (totalmente en desacuerdo) al 5 (totalmente de acuerdo), salvo que se indique lo contrario.

Sección 1: Funcionalidad Física

1. He notado mejoras significativas en mi rango de movimiento.
2. Puedo realizar tareas diarias con menor dificultad en comparación con el inicio de mi rehabilitación.
3. Mi equilibrio ha mejorado desde que inicié las sesiones.
4. Mi nivel de fuerza muscular ha incrementado visiblemente.

Sección 2: Aspectos Biomecánicos

5. Siento que mi postura ha mejorado gracias al programa.
6. Mi capacidad para realizar movimientos complejos (e.g., agacharme, levantar objetos) ha mejorado.
7. Los ejercicios realizados en terapia se adaptan a mis necesidades específicas.
8. Los dispositivos utilizados en mi rehabilitación (e.g., prótesis, órtesis) son efectivos.

Sección 3: Bienestar Emocional

9. Me siento más seguro/a al realizar actividades físicas.
10. Mi motivación para continuar con el programa ha incrementado.
11. El dolor que experimentaba antes de la terapia ha disminuido significativamente.
12. Estoy satisfecho/a con los resultados obtenidos hasta ahora.

Sección 4: Satisfacción con el Programa de Rehabilitación

13. Las sesiones de rehabilitación están bien organizadas y estructuradas.
14. El personal que me atiende demuestra conocimiento técnico y profesionalismo.
15. El ambiente en el que realizo mi rehabilitación es cómodo y adecuado.
16. La comunicación con mi terapeuta es efectiva y clara.

Sección 5: Autoevaluación del Progreso

17. Comparado/a con el inicio de la rehabilitación, evalúo mi recuperación en un (elige una opción):
 - ___ Menor al 25%
 - ___ Entre 25% y 50%
 - ___ Entre 50% y 75%
 - ___ Más del 75%

Interpretación:

- Puntuación total: Suma los valores obtenidos en todas las secciones. Una mayor puntuación indica mayor percepción de progreso y satisfacción con la rehabilitación.
- Análisis cualitativo: Las respuestas abiertas pueden complementar los datos cuantitativos para identificar áreas específicas de mejora.
- Análisis de correlación: Los datos de las variables socioeconómicas, socioculturales, sociodemográficas y socioeducativas se relacionarán con los puntajes de progreso en rehabilitación para identificar patrones e influencias.
- Puntuación final: Combinar las secciones de rehabilitación biomecánica con factores contextuales para un diagnóstico integral.

Anexo B

```
# Paso 1: Importar bibliotecas necesarias
import numpy as np
import pandas as pd
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Dense, Dropout
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from sklearn.metrics import classification_report

# Paso 2: Generar datos sintéticos basados en el instrumento
np.random.seed(42)

# Variables sociodemográficas
edad = np.random.randint(18, 80, 500)
sexo = np.random.choice([0, 1], 500) # 0: Masculino, 1: Femenino
estado_civil = np.random.choice([0, 1, 2, 3, 4], 500) # 0: Soltero, ..., 4: Viudo
residencia = np.random.choice([0, 1], 500) # 0: Urbano, 1: Rural

# Variables socioeconómicas
ingresos = np.random.choice([0, 1, 2], 500) # 0: <1 salario mínimo, 1: 1-3, 2: >3
salud = np.random.choice([0, 1, 2], 500) # 0: Público, 1: Privado, 2: Ninguno
vivienda = np.random.choice([0, 1, 2], 500) # 0: Propia, 1: Rentada, 2: Prestada

# Variables socioeducativas
educacion = np.random.choice([0, 1, 2, 3], 500) # 0: Sin estudios, ..., 3: Educación superior
informacion = np.random.choice([0, 1, 2], 500) # 0: Fácil, 1: Moderado, 2: Difícil

# Variables socioculturales
idioma = np.random.choice([0, 1, 2], 500) # 0: Español, 1: Lengua indígena, 2: Otro
apoyo = np.random.randint(1, 6, 500) # Escala del 1 al 5

# Progreso en rehabilitación (variable objetivo)
progreso = np.random.randint(0, 2, 500) # 0: Bajo progreso, 1: Alto progreso

# Crear DataFrame
data = pd.DataFrame({
    'Edad': edad,
    'Sexo': sexo,
    'Estado_Civil': estado_civil,
    'Residencia': residencia,
    'Ingresos': ingresos,
    'Salud': salud,
    'Vivienda': vivienda,
    'Educacion': educacion,
    'Informacion': informacion,
    'Idioma': idioma,
    'Apoyo': apoyo,
    'Progreso': progreso
})
```

```

# Paso 3: Preprocesar los datos
X = data.drop('Progreso', axis=1)
y = data['Progreso']

# Normalización de los datos
scaler = StandardScaler()
X_scaled = scaler.fit_transform(X)

# Dividir los datos en conjuntos de entrenamiento y prueba
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X_scaled, y, test_size=0.2, random_state=42)

# Paso 4: Construir y entrenar la red neuronal
model = Sequential([
    Dense(64, activation='relu', input_shape=(X_train.shape[1],)),
    Dropout(0.3),
    Dense(32, activation='relu'),
    Dropout(0.3),
    Dense(1, activation='sigmoid')
])

model.compile(optimizer='adam', loss='binary_crossentropy', metrics=['accuracy'])

# Entrenar el modelo
history = model.fit(X_train, y_train, epochs=50, batch_size=32, validation_data=(X_test, y_test),
verbose=1)

# Paso 5: Evaluar el modelo
loss, accuracy = model.evaluate(X_test, y_test, verbose=0)
print(f"Precisión en el conjunto de prueba: {accuracy:.2f}")

# Predicciones y reporte
y_pred = (model.predict(X_test) > 0.5).astype("int32")
print(classification_report(y_test, y_pred))

# Paso 6: Visualizar el historial de entrenamiento
import matplotlib.pyplot as plt

plt.plot(history.history['accuracy'], label='Precisión en entrenamiento')
plt.plot(history.history['val_accuracy'], label='Precisión en validación')
plt.xlabel('Épocas')
plt.ylabel('Precisión')
plt.legend()
plt.show()

```