Smart Backpack for Posture Monitoring and Prevention of Musculoskeletal Fatigue in Students Using IoT

Javier Fernando Angulo Osorio[1]; José Matias Bedoya Quispe[2]; Abigail Leonor Urquizo Aragón[3]
[1]Universidad Católica de Santa María, Perú, jangulo@ucsm.edu.pe
[2]Universidad Católica de Santa María, Perú, *jose.bedoya@estudiante.ucsm.edu.pe*
[3]Universidad Católica de Santa María, Perú, *abigail.urquizo@estudiante.ucsm.edu.pe*

Frequent use of overweight backpacks is a common problem among students in Peru, causing muscle discomfort, fatigue, back pain, and postural problems. This research proposes the conceptual design of a smart backpack aimed at monitoring the carried weight, the pressure exerted on specific support areas, and the detection of changes in body posture through the application of the Internet of Things (IoT). Through a survey conducted among students from the School of Systems Engineering at the Catholic University of Santa Maria, the study analyzed why the use of heavy backpacks has become normalized as part of students' daily habits. The results indicate that 100% of the participants use a backpack daily, while 80% perceive that their backpacks are excessively heavy and associate this condition with back pain. However, this subjective perception should be distinguished from an objective measurement of backpack overload exceeding 10–15% of body weight. The proposal received high acceptance among students, positioning the smart backpack as a preventive and conceptually viable IoT solution for postural health care. Experimental and functional validation of the physical prototype remains pending.
Keywords— IoT (Internet of Things), smart backpack, sensors, postural health.

Mochila Inteligente para el Monitoreo de la Postura y la Prevención de la Fatiga Musculoesquelética en Estudiantes usando IoT.

Javier Fernando Angulo Osorio[1]; José Matias Bedoya Quispe[2]; Abigail Leonor Urquizo Aragón[3]
[1]Universidad Católica de Santa María, Perú, jangulo@ucsm.edu.pe
[2]Universidad Católica de Santa María, Perú, *jose.bedoya@estudiante.ucsm.edu.pe*
[3]Universidad Católica de Santa María, Perú, *abigail.urquizo@estudiante.ucsm.edu.pe*

Resumen–El uso frecuente de mochilas con sobrepeso es un problema común dentro de los estudiantes en Perú, el cual provoca molestias musculares, fatiga, dolor de espalda y problemas posturales. La presente investigación propone el diseño conceptual de una mochila inteligente orientada al monitoreo del peso transportado, la presión ejercida sobre determinadas zonas de apoyo y la detección de alteraciones en la postura corporal mediante la aplicación de Internet de las Cosas (IoT). Mediante una encuesta aplicada a estudiantes de la escuela de ingeniería de sistemas de la Universidad Católica de Santa María, se analizaba por qué el uso de mochilas pesadas se ha normalizado como parte de la costumbre. Los resultados indican que el 100% de las personas usa la mochila a diario y un 80% percibe que el peso de estas es elevado, asociándolo a dolencias de espalda; sin embargo, se debe diferenciar esta percepción subjetiva de una medición objetiva de sobrecarga superior al 10-15% del peso corporal. La propuesta obtuvo una alta aceptación estudiantil, lo que posiciona a la mochila inteligente como una solución IoT preventiva y conceptualmente viable para el cuidado de la salud postural, quedando pendiente la validación experimental y funcional del prototipo físico.

Palabras Clave— IoT (Internet of Things), mochila inteligente, sensores, salud postural.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de mochilas constituye una actividad cotidiana en niños, adolescentes y adultos, tanto en el ámbito académico como laboral y personal. Sin embargo, el transporte frecuente de cargas excesivas representa un problema relevante de salud pública, ya que puede generar efectos negativos como dolor lumbar, fatiga muscular y alteraciones en la postura corporal. Diversos estudios, como el realizado por Sara Dockrell, Ciaran Simms y Catherine Blake [1] establecen que el peso de la mochila no debería superar entre el 10% y 15% del peso corporal del usuario; no obstante, este límite suele ser excedido en la práctica debido al desconocimiento o a la falta de control del peso transportado.

Ante esta problemática, existen estudios que analizan el impacto del peso de las mochilas y propuestas de monitoreo basadas en sensores, sin embargo, la mayoría de estas soluciones se enfocan únicamente en la medición del peso transportado. Son limitadas las propuestas que integran simultáneamente el monitoreo del peso, la distribución de presión y la evaluación de la postura en un único sistema inteligente. En este contexto, el presente proyecto propone el diseño de una mochila inteligente capaz de medir el peso en tiempo real, analizar la distribución de presión en la espalda y evaluar la postura corporal mediante la integración de sensores electrónicos y un sistema basado en Arduino.

El prototipo incorpora sensores de celda de carga para la medición del peso total, sensores de presión distribuida para el análisis de la presión en distintas zonas de la mochila y un sensor inercial (IMU) para la evaluación de la postura del usuario. Estos elementos permiten identificar desequilibrios en la carga, variaciones en la presión y posturas inadecuadas, generando alertas cuando se detecten condiciones que puedan comprometer la salud del usuario.

Su sistema integra conectividad con dispositivos móviles, con el objetivo de informar en tiempo real sobre excesos de peso, niveles de presión y alteraciones en la postura durante el uso del dispositivo.

Busca contribuir a la prevención de problemas musculoesqueléticos asociados al uso inadecuado de mochilas, integrando tecnología electrónica, sensores y programación como una solución innovadora, funcional y aplicable a distintos grupos de usuarios.

El uso cotidiano de mochilas con sobrecarga constituye una problemática relevante en estudiantes de distintos niveles educativos, debido al transporte constante de materiales académicos sin un control adecuado del peso. Diversas investigaciones han evidenciado que una proporción significativa de estudiantes transporta cargas superiores a los límites recomendados, lo que incrementa el riesgo de presentar dolor de espalda, fatiga muscular y alteraciones posturales. En particular, se ha establecido que el peso de la mochila no debería superar entre el 10% y 15% del peso corporal, ya que exceder este rango puede generar efectos negativos en la salud musculoesquelética [1]. Además, estudios como el de Negrini y Carabalona [2] demuestran que los estudiantes frecuentemente no perciben con precisión el peso que transportan, lo que agrava la problemática al eliminar la posibilidad de autorregulación. De manera complementaria, investigaciones más recientes confirman que el exceso de carga no solo genera molestias inmediatas, sino que también puede derivar en problemas crónicos si se mantiene en el tiempo [3].

La importancia de abordar esta problemática radica en sus múltiples efectos sobre la postura, la marcha y la salud general del usuario. Estudios han demostrado que el transporte de cargas excesivas provoca inclinaciones del tronco, alteraciones

en el equilibrio y modificaciones en la forma de caminar, lo que incrementa el riesgo de desarrollar trastornos musculoesqueléticos a largo plazo [4]. Asimismo, se ha evidenciado que la distribución inadecuada del peso en la mochila incrementa la presión sobre los hombros y la columna vertebral, generando tensiones que afectan directamente la biomecánica corporal [5]. Por otro lado, investigaciones como la de Grimmer et al. [6] refuerzan que el exceso de carga influye negativamente en la alineación postural, especialmente en adolescentes en etapa de crecimiento. En conjunto, estos estudios evidencian que no se trata únicamente de un problema de peso, sino de un fenómeno complejo que involucra distribución de carga, postura y percepción del usuario.

La tecnología se presenta como una herramienta clave para transformar esta problemática en una variable medible y controlable. El desarrollo de sistemas electrónicos integrados en mochilas ha sido previamente explorado, demostrando su viabilidad técnica y su potencial para prevenir riesgos mediante el monitoreo continuo del peso transportado [7]. Asimismo, investigaciones aplicadas en el contexto académico, como la de Meléndez [8], evidencian que es posible implementar prototipos funcionales utilizando microcontroladores como Arduino y sensores electrónicos accesibles. Estos avances permiten no solo medir el peso, sino también generar alertas que contribuyan a modificar el comportamiento del usuario y prevenir daños físicos.

El aporte del presente proyecto consiste en el diseño de un concepto de mochila inteligente capaz de medir el peso en tiempo real, detectar la postura del usuario y evaluar la distribución de la carga mediante sensores electrónicos integrados. De acuerdo con Tomal et al. [4], incluso variaciones moderadas en la carga pueden afectar la cinemática del movimiento, lo que resalta la importancia del monitoreo continuo.

II. Objetivos

A. Objetivo general

1) Diseñar un prototipo de mochila inteligente para medición de peso, presión y postura aplicando Internet de las Cosas.

B. Objetivos Específicos

1) Diseñar un sistema de monitoreo en tiempo real que permita la medición del peso, la presión de carga y la detección de posturas inadecuadas mediante el procesamiento de datos obtenidos a partir de sensores integrados en el prototipo.

2) Desarrollar e integrar un sistema de alertas visuales y sonoras que notifique al usuario cuando el peso o la presión excedan los rangos considerados saludables, así como cuando se identifiquen desequilibrios posturales durante el uso del dispositivo.

3) Evaluar y validar el funcionamiento del prototipo mediante pruebas experimentales controladas, contrastando los datos obtenidos con valores de referencia y analizando su desempeño en condiciones reales de uso.

III. Marco Teórico

A. Antecedentes

El impacto del uso de mochilas con sobrecarga sobre la salud postural ha sido ampliamente estudiado en diferentes investigaciones científicas debido a su relación con alteraciones musculoesqueléticas y problemas ergonómicos en estudiantes y usuarios frecuentes. Negrini y Carabalona [2] analizaron la percepción del peso transportado por escolares y concluyeron que muchos estudiantes llevan cargas superiores a las recomendadas sin ser plenamente conscientes de ello, situación que incrementa el riesgo de desarrollar dolor lumbar y fatiga muscular.

Mientras que este estudio se centró principalmente en la percepción subjetiva de la carga y su asociación con molestias físicas, Dockrell, Simms y Blake [1] enfocaron su investigación en la determinación de límites biomecánicos seguros para el transporte de mochilas escolares. Los autores establecieron que el peso transportado no debería exceder aproximadamente entre el 10% y 15% del peso corporal, ya que superar este límite puede provocar alteraciones posturales, incomodidad y fatiga muscular. Ambos estudios coinciden en que la falta de control y percepción objetiva del peso transportado constituye uno de los principales factores de riesgo.

Asimismo, investigaciones posteriores han profundizado en las consecuencias biomecánicas derivadas del exceso de carga. Dockrell et al [1] demostraron que transportar mochilas pesadas modifica la postura corporal y la forma de caminar, generando inclinaciones del tronco, alteraciones en el equilibrio y cambios en la marcha que pueden convertirse en trastornos musculoesqueléticos a largo plazo. De manera complementaria, Grimmer et al [6] evidenciaron que el exceso de peso afecta directamente la alineación corporal de adolescentes en etapa de crecimiento. Por otro lado, Tomal et al. [4] comprobaron mediante análisis biomecánicos que incluso variaciones moderadas en la carga alteran la cinemática del movimiento y el equilibrio corporal.

Por otro lado, Mackie, Stevenson y Reid [5] analizaron cómo las diferentes configuraciones de carga afectan la distribución del peso y la presión ejercida sobre los hombros y la columna vertebral. Sus resultados demostraron que una distribución inadecuada de la carga incrementa significativamente la tensión muscular y las presiones sobre las zonas de soporte corporal, evidenciando que no solo es importante controlar el peso de la mochila, sino también la manera en que este se distribuye.

En respuesta a esta problemática, Meléndez [8] presentó el diseño de una mochila inteligente basada en sensores electrónicos y microcontroladores capaces de medir el peso transportado y generar alertas cuando se superan límites considerados seguros. Del mismo modo, la patente ``Smart backpack system with load monitoring capability" [9] propuso un sistema con sensores integrados y mecanismos de alerta visual y sonora. Ambos trabajos demuestran la viabilidad técnica de integrar sistemas electrónicos en mochilas como herramienta preventiva.

IV. Materiales y Métodos

A. Metodología del proyecto

El presente proyecto corresponde a una investigación aplicada con enfoque tecnológico y experimental, orientada al diseño de un prototipo funcional de mochila inteligente para el monitoreo de carga y detección de postura. La metodología empleada se desarrollará de manera secuencial e iterativa, permitiendo realizar mejoras progresivas conforme se obtengan resultados durante las etapas de prueba y validación.

En primer lugar, se realizó la identificación y análisis del problema mediante la revisión de antecedentes científicos. Posteriormente, se llevó a cabo el diseño conceptual del sistema, definiendo las funciones principales de la mochila inteligente y estableciendo la integración de sensores electrónicos, mecanismos de alerta visual y comunicación inalámbrica mediante Bluetooth.

La siguiente etapa correspondió a la selección y evaluación de componentes electrónicos, considerando criterios de compatibilidad, precisión, facilidad de programación, consumo energético y disponibilidad. Como resultado, se seleccionaron el microcontrolador Arduino Uno R3, sensores FSR, módulo Bluetooth HC-05 y sensores inerciales MPU-6050, además de una celda de carga con módulo HX711.

Después de la selección de componentes, se desarrollará el proceso de diseño conceptual del prototipo, contemplando el ensamblaje físico y electrónico del sistema dentro de la mochila y la programación del microcontrolador utilizando el entorno Arduino IDE. Posteriormente, se realizarán pruebas experimentales y de validación, y finalmente una etapa de evaluación y optimización del sistema.

B. Materiales y herramientas

a. Componentes electrónicos

El sistema utilizará como unidad principal de procesamiento un microcontrolador *Arduino Uno R3*. Para la detección de peso y presión se emplearán sensores *FSR 406*, capaces de identificar variaciones de fuerza en zonas específicas de la mochila. Asimismo, se incorporará una *celda de carga con módulo HX711* para mediciones calibradas del peso. El *sensor MPU-6050* integrará acelerómetro y giroscopio para el monitoreo de movimiento y orientación corporal. El sistema contará con un *módulo Bluetooth HC-05* para comunicación inalámbrica con módulo I2C PCF8574 para la visualización local de datos. El conjunto será alimentado mediante una batería recargable compatible con los componentes del sistema.

b. Herramientas de desarrollo

Se utilizarán el software *Arduino IDE* para el desarrollo del código, así como multímetros, cautín, estaño y cables jumper para conexiones y pruebas eléctricas. Para el diseño visual y estructural se emplearán programas de modelado tridimensional.

c. Materiales de montaje

El prototipo será integrado dentro de una mochila convencional adaptada, utilizando cinta aislante, sujetadores plásticos, espuma protectora y compartimentos internos para asegurar la estabilidad y seguridad de los dispositivos instalados.

C. Lista de componentes

1) Arduino Uno R3 encargado de procesar los datos, controlar las alertas y gestionar la comunicación entre módulos.
2) Sensor FSR 406 detecta presión o fuerza en zonas específicas de la mochila.
3) Celda de carga + módulo HX711 medición calibrada del peso transportado.
4) Sensor MPU-6050 detección de inclinaciones y alteraciones posturales.
5) Módulo Bluetooth HC-05 (1) transmisión inalámbrica de datos a dispositivos móviles.
6) Batería recargable Li-ion, Li-Po o paquete AA, rango aproximado de 7,4V a 9V.
7) Cables jumper macho-macho (20-30) conexiones generales entre componentes.
8) Cables jumper macho-hembra (10-15) conexión de módulos electrónicos.
9) Protoboard pruebas y ensamblaje temporal del circuito.
10) Divisor de voltaje para HC-05 protección contra niveles de voltaje elevados.

D. Visualización del prototipo

Las figuras presentan los modelos tridimensionales y los diagramas técnicos esquemáticos del sistema desde distintas vistas (superior, frontal, lateral izquierda y posterior). El desarrollo de estas imágenes corresponde a una fase avanzada de prototipado, por lo que se encuentran sujetas a modificaciones conforme avance el proyecto. Este proceso es inherente al desarrollo iterativo de prototipos electrónicos, donde cada etapa de prueba puede derivar en cambios que optimicen tanto el funcionamiento como la presentación del proyecto.

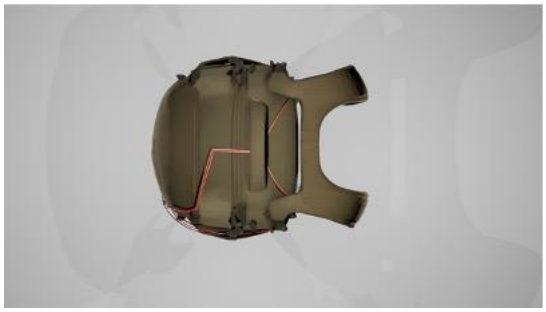


Fig. 1 Vista superior de la mochila

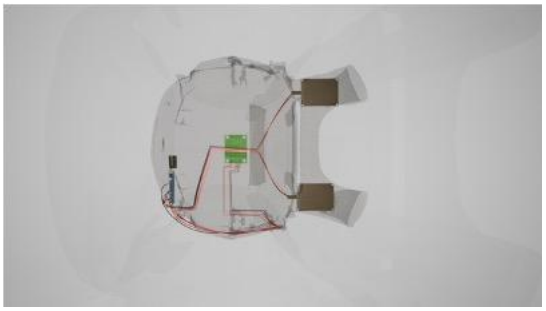


Fig. 2 Vista superior de la mochila (versión alfa)



Fig. 3 Vista lateral izquierda de la mochila



Fig. 4 Vista lateral izquierda de la mochila (versión alfa)



Fig. 5 Vista frontal de la mochila



Fig. 6 Vista frontal de la mochila (versión alfa)

V. Resultados

Con la finalidad de conocer la percepción de los usuarios respecto al peso transportado en mochilas y la necesidad de implementar soluciones tecnológicas orientadas al cuidado postural, se aplicó una encuesta preliminar dirigida al público objetivo del proyecto, orientada principalmente a estudiantes.

A. Población encuestada

La encuesta fue aplicada a 20 estudiantes pertenecientes al ámbito escolar y universitario, quienes utilizan mochila de manera cotidiana para el transporte de materiales académicos.

B. Preguntas realizadas

1)¿Utiliza mochila diariamente para transportar materiales académicos?

2)¿Considera que el peso de su mochila suele ser elevado?

3)¿Ha presentado dolor de espalda, hombros o fatiga debido al uso de mochila?

4)¿Conoce el peso recomendado que debería transportar una mochila?

5)¿Considera importante monitorear el peso transportado diariamente?

6)¿Le gustaría recibir alertas cuando el peso exceda un límite saludable?

7)¿Considera útil una mochila inteligente con sensores de monitoreo?

8)¿Estaría dispuesto a utilizar una mochila tecnológica orientada al cuidado postural?

a.Segunda encuesta

1)¿La mochila inteligente le parece una solución útil para tener conocimiento sobre cuánto peso y presión transportan los estudiantes?

2)¿Considera que el monitoreo en tiempo real del peso, presión y postura de la espalda aporta un beneficio práctico?

3)¿Las alertas de sobrepeso que lleva le ayudarían a tomar medidas para reducir la carga transportada?

4)¿La información proporcionada por el sistema resulta fácil de interpretar?

5)¿Considera que la integración de sensores mejora la funcionalidad de una mochila convencional?

6)¿Considera que las alertas son suficientes para informar al usuario?

7)¿Estaría dispuesto(a) a recomendar esta mochila a otras personas?

8)Utilizaría una mochila tecnológica

C. Metodología de aplicación

La encuesta fue aplicada de manera presencial y virtual mediante formularios de respuesta cerrada. Los participantes respondieron de forma voluntaria y anónima, garantizando la confidencialidad de la información recopilada. Posteriormente, los datos obtenidos fueron organizados y analizados para identificar tendencias relacionadas con el problema estudiado y la aceptación de la propuesta tecnológica.

D. Resultados de las encuestas

Tabla 1. Resultados de la primera encuesta

Número de pregunta	Resultados de encuesta		
	Pregunta	Respuesta: Si	Respuesta: No
1	¿Usa a diario mochila?	20	0
2	¿Considera pesada su mochila?	16	4
3	¿Ha sentido dolor o fatiga?	15	5
4	¿Conoce el peso recomendado?	4	16
5	¿Considera importante monitorear el peso que carga?	18	2
6	¿Le gustaría recibir alertas?	17	3
7	¿Considera útil la mochila inteligente?	19	1
8	¿Utilizaría una mochila inteligente?	16	4

Tabla 2. Resultados de la segunda encuesta

Número de pregunta	Resultados de la encuesta				
	Pregunta	Respuesta: Si		Respuesta: No	
1	¿La mochila inteligente le parece una solución útil para tener conocimiento sobre cuánto peso y presión transportan los estudiantes?	19		1	
2	¿Considera que el monitoreo en tiempo real del peso, presión y postura de la espalda aporta un beneficio práctico?	18		2	
3	¿Las alertas de sobrepeso que lleva le ayudarían a tomar medidas para reducir la carga transportada?	18		2	
4	¿La información proporcionada por el sistema resulta fácil de interpretar?	17		3	
5	¿Considera que la integración de sensores mejora la funcionalidad de una mochila convencional?	19		1	
6	¿Considera que las alertas son suficientes para informar al usuario?	17		3	
7	¿Estaría dispuesto(a) a recomendar esta mochila a otras personas?	18		2	
8	Utilizaría una mochila tecnológica	Monitoreo del peso:	Monitoreo de presión:	Monitoreo de postura:	Comunicación Bluetooth:
		7 (35%)	2 (10%)	5 (25%)	6 (30%)

Los resultados de la primera encuesta muestran que el 100% de los encuestados utiliza mochila diariamente, lo que confirma que el transporte de carga forma parte de la rutina habitual de los estudiantes. Asimismo, el 80% considera que su mochila suele ser pesada y el 75% manifestó haber experimentado dolor de espalda, hombros o fatiga, evidenciando la existencia de molestias físicas asociadas al uso cotidiano de mochilas con sobrepeso.

Solo el 20% de los participantes indicó conocer el peso recomendado que debería transportar una mochila, mientras que el 80% afirmó desconocerlo. Este resultado revela una limitada conciencia sobre los límites saludables de carga y la importancia de la prevención de problemas posturales.

En relación con la propuesta tecnológica, el 90% consideró importante monitorear el peso transportado diariamente y el 85% manifestó interés en recibir alertas automáticas cuando la carga exceda los límites recomendados. Además, el 95% de los encuestados consideró útil la implementación de una mochila inteligente con sensores electrónicos, mientras que el 80% indicó que estaría dispuesto a utilizarla.

La segunda encuesta refuerza la aceptación de la propuesta. El 95% de los participantes considera que la mochila inteligente constituye una solución útil para conocer el peso y la presión transportados, y el 90% opina que el monitoreo en tiempo real del peso, la presión y la postura aporta beneficios prácticos para el usuario. Del mismo modo, el 90% señaló que las alertas de sobrepeso le ayudarían a tomar medidas para reducir la carga transportada.

El 85% manifestó que la información proporcionada es fácil de interpretar y el mismo porcentaje consideró que las alertas implementadas son suficientes para informar al usuario. Asimismo, el 95% afirmó que la integración de sensores mejora significativamente la funcionalidad de una mochila convencional.

El 90% de los encuestados estaría dispuesto a recomendar la mochila inteligente a otras personas. En cuanto a las funcionalidades preferidas, el monitoreo del peso obtuvo la mayor aceptación (35%), seguido de la comunicación Bluetooth (30%), el monitoreo de postura (25%) y el monitoreo de presión (10%). Estos resultados evidencian una alta aceptación de la propuesta y respaldan la viabilidad de desarrollar una mochila inteligente orientada a la prevención de problemas posturales y al monitoreo de la carga transportada por los estudiantes.

a. Interpretación de resultados de la primera encuesta

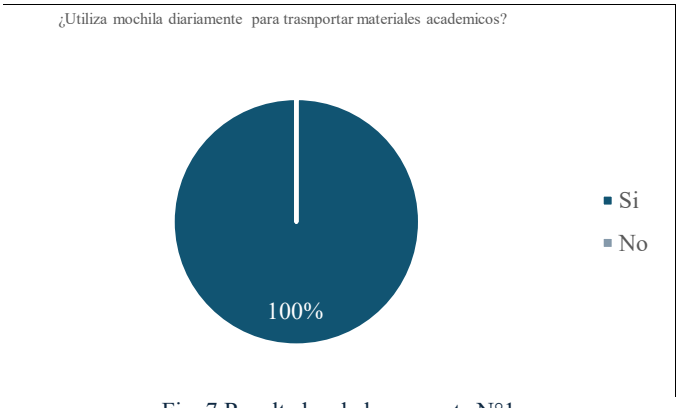


Fig. 7 Resultados de la pregunta N°1

Los resultados obtenidos muestran que el 100 % de los encuestados utiliza mochila diariamente para transportar

materiales académicos. Este resultado evidencia que el uso de mochilas forma parte de la rutina cotidiana de los estudiantes, lo que incrementa la exposición constante al transporte de peso y a posibles problemas relacionados con la postura corporal y la fatiga muscular.

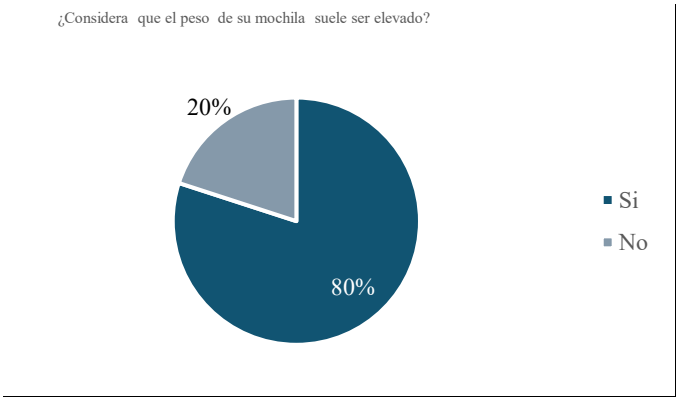


Fig. 8 Resultados de la pregunta N°2

El 80 % de los participantes considera que el peso de su mochila suele ser elevado, mientras que solo el 20 % indicó lo contrario. Estos resultados reflejan que la mayoría de los estudiantes percibe que transporta una carga excesiva durante sus actividades diarias, situación que puede afectar negativamente su bienestar físico y postura corporal.

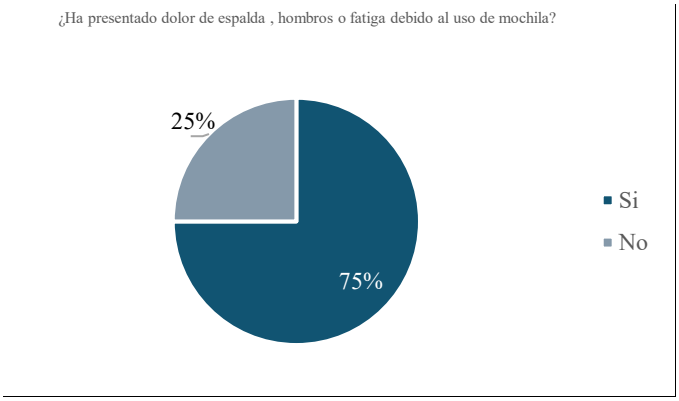


Fig. 9 Resultados de la pregunta N°3

Los resultados muestran que el 75 % de los encuestados ha presentado dolor de espalda, hombros o fatiga debido al uso frecuente de mochilas. Esto evidencia una relación entre el transporte constante de peso y la aparición de molestias musculoesqueléticas, lo que respalda la necesidad de implementar soluciones orientadas al monitoreo y prevención de sobrecargas.

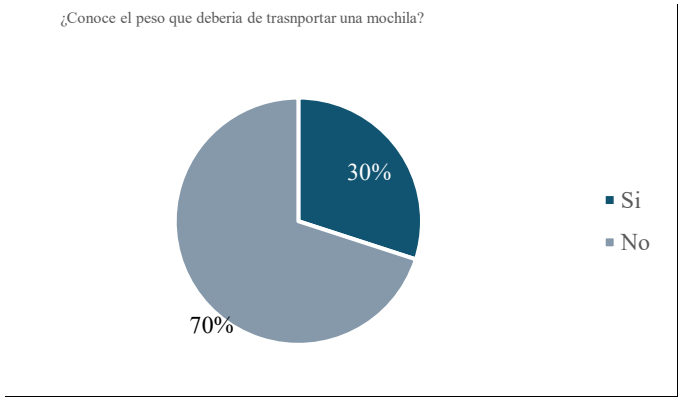


Fig. 10 Resultados de la pregunta N°4

Únicamente el 30 % de los participantes indicó conocer el peso recomendado que debería transportar una mochila, mientras que el 70 % manifestó desconocer esta información. Este resultado evidencia un bajo nivel de conocimiento sobre límites saludables de carga y prevención postural, lo que puede contribuir al transporte inadecuado de peso.

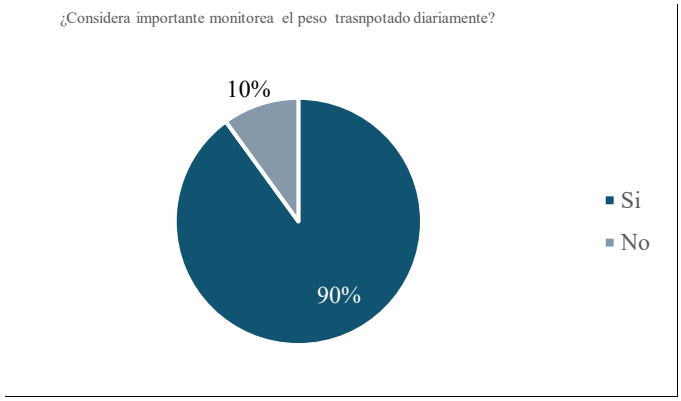


Fig. 11 Resultados de la pregunta N°5

El 90 % de los encuestados considera importante monitorear el peso transportado dia-riamente, mientras que solo un 10 % indicó que no lo considera necesario. Estos resultados reflejan un alto nivel de interés por parte de los estudiantes hacia mecanismos de control y prevención relacionados con la carga transportada.

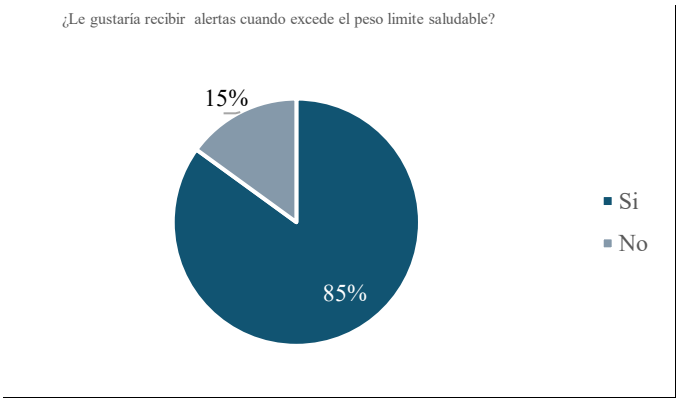


Fig. 12 Resultados de la pregunta N°6

Los resultados muestran que el 85 % de los participantes estaría interesado en recibir alertas cuando el peso de la mochila exceda límites considerados saludables. Esto evidencia una aceptación positiva hacia sistemas de advertencia preventiva orientados al cuidado postural y a la reducción de riesgos asociados al exceso de peso.

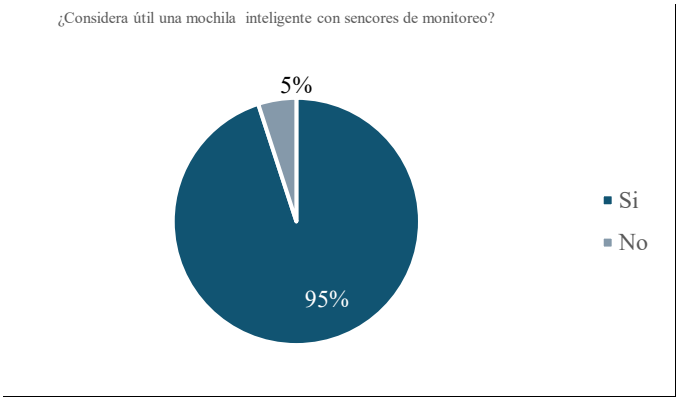


Fig. 13 Resultados de la pregunta N°7

El 95% de los encuestados considera útil la implementación de una mochila inteligente con sensores de monitoreo, mientras que únicamente el 5 % manifestó lo contrario. Este resultado refleja una elevada aceptación de soluciones tecnológicas orientadas al monitoreo del peso, presión y postura durante el uso cotidiano de mochilas.

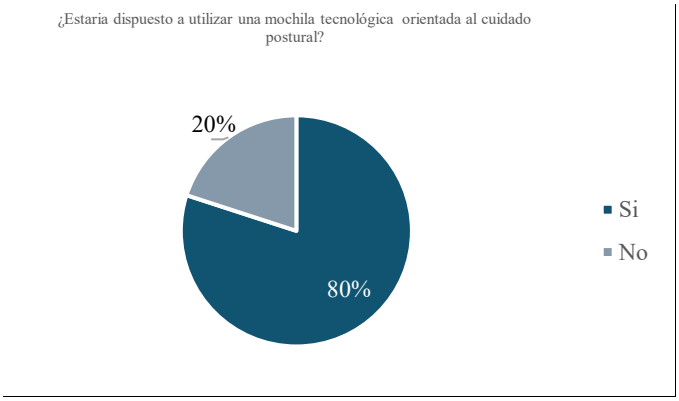


Fig. 14 Resultados de la pregunta N°8

El 80 % de los participantes indicó que estaría dispuesto a utilizar una mochila tecnológica orientada al cuidado postural. Este resultado demuestra que existe una aceptación favorable hacia la implementación de dispositivos inteligentes aplicados a la prevención de problemas musculoesqueléticos y al monitoreo de hábitos relacionados con el transporte de peso.

b. Interpretación de resultados de la segunda encuesta

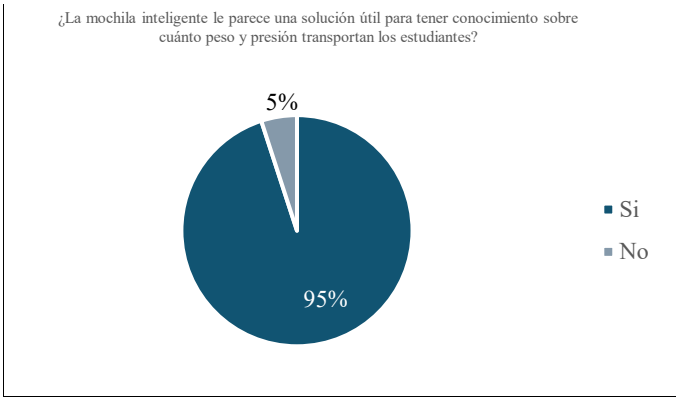


Fig. 15 Resultados de la pregunta N°1

El elevado nivel de aceptación indica que los participantes perciben una necesidad real de conocer de manera objetiva la carga que transportan diariamente. Este resultado respalda directamente el propósito del proyecto, ya que demuestra que los estudiantes consideran valiosa la incorporación de sensores que permitan monitorear el peso y la presión ejercida por la mochila. La alta aprobación sugiere que la propuesta responde a una problemática reconocida por los usuarios y posee potencial de adopción.

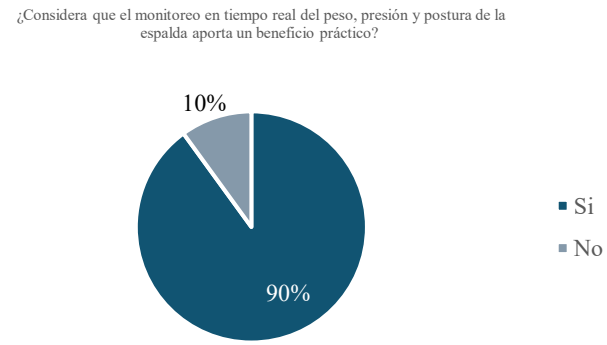


Fig. 16 Resultados de la pregunta N°2

La mayoría de los encuestados reconoce que disponer de información en tiempo real puede contribuir a la prevención de problemas posturales y sobrecargas físicas. Este resultado valida la incorporación de sensores de peso, presión y postura como elementos funcionales del sistema. Desde una perspectiva de ingeniería, justifica el desarrollo de un sistema de monitoreo continuo en lugar de mediciones aisladas, ya que los usuarios perciben valor en la retroalimentación inmediata.

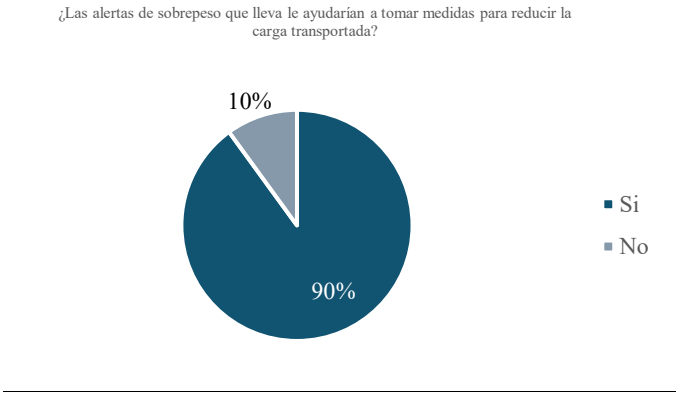


Fig. 17 Resultados de la pregunta N°3

Los resultados evidencian que las alertas constituyen un mecanismo efectivo para promover cambios de comportamiento. La mayoría considera que una notificación de sobrepeso influiría en sus decisiones respecto a la cantidad de materiales transportados. Esto respalda la inclusión de sistemas de advertencia visuales, sonoros o mediante dispositivos móviles, debido a que no solo informan, sino que también pueden favorecer hábitos más saludables.

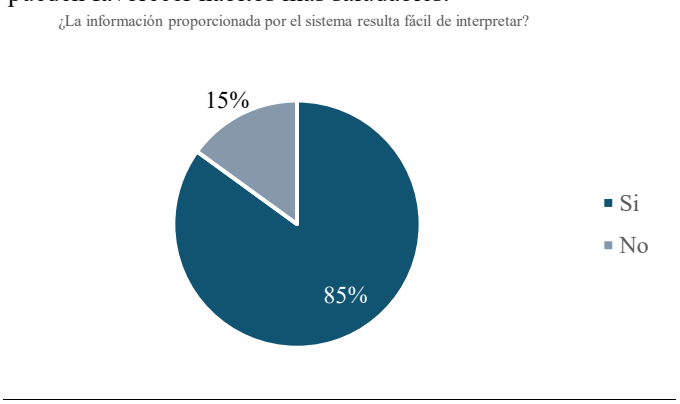


Fig. 18 Resultados de la pregunta N°4

La alta proporción de respuestas afirmativas indica que la interfaz propuesta presenta un nivel adecuado de comprensión para los usuarios. Sin embargo, el porcentaje restante sugiere la necesidad de optimizar la presentación de datos para garantizar una interpretación clara por parte de todos los estudiantes. Este hallazgo destaca la importancia del diseño centrado en el usuario dentro del desarrollo de la mochila inteligente.

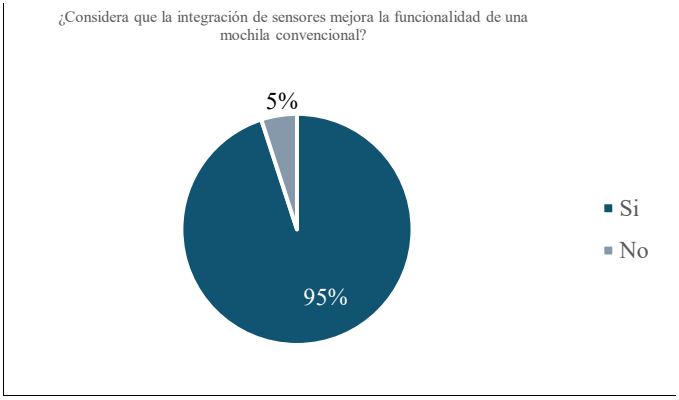


Fig. 19 Resultados de la pregunta N°5

La mayoría considera que las alertas cumplen adecuadamente la función de informar sobre situaciones de riesgo. No obstante, el porcentaje de respuestas negativas sugiere que algunos usuarios podrían requerir información complementaria, como estadísticas históricas, recomendaciones personalizadas o visualización detallada de los datos. Este resultado puede orientar futuras mejoras del sistema.

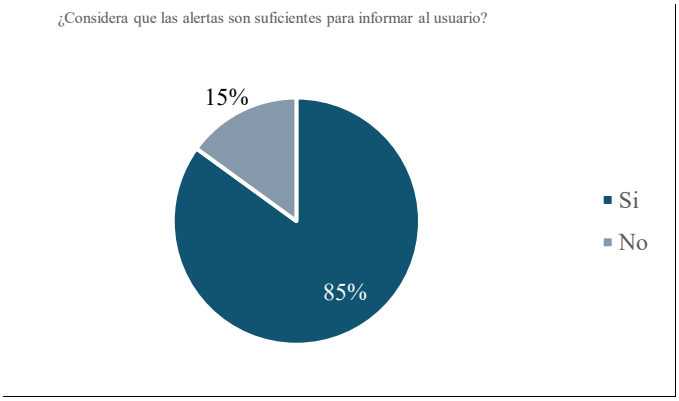


Fig. 20 Resultados de la pregunta N°6

La mayoría considera que las alertas cumplen adecuadamente la función de informar sobre situaciones de riesgo. No obstante, el porcentaje de respuestas negativas sugiere que algunos usuarios podrían requerir información complementaria, como estadísticas históricas, recomendaciones personalizadas o visualización detallada de los datos. Este resultado puede orientar futuras mejoras del

sistema.

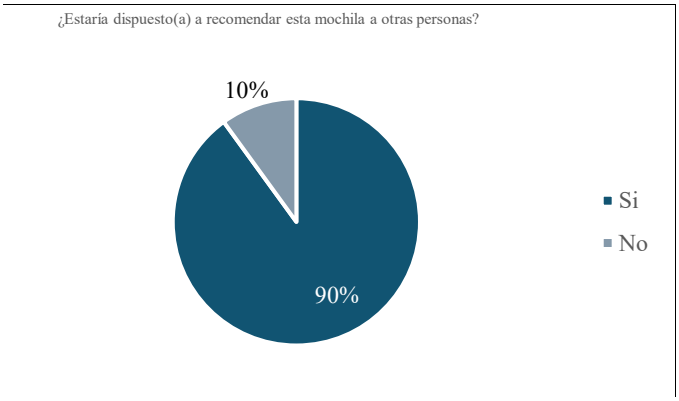


Fig. 21 Resultados de la pregunta N°7

La disposición de los participantes a recomendar la mochila constituye un indicador indirecto de satisfacción y aceptación tecnológica. Desde la perspectiva de viabilidad del proyecto, este resultado es relevante porque sugiere un potencial de difusión entre estudiantes, padres de familia e instituciones educativas, favoreciendo una futura implementación a mayor escala.

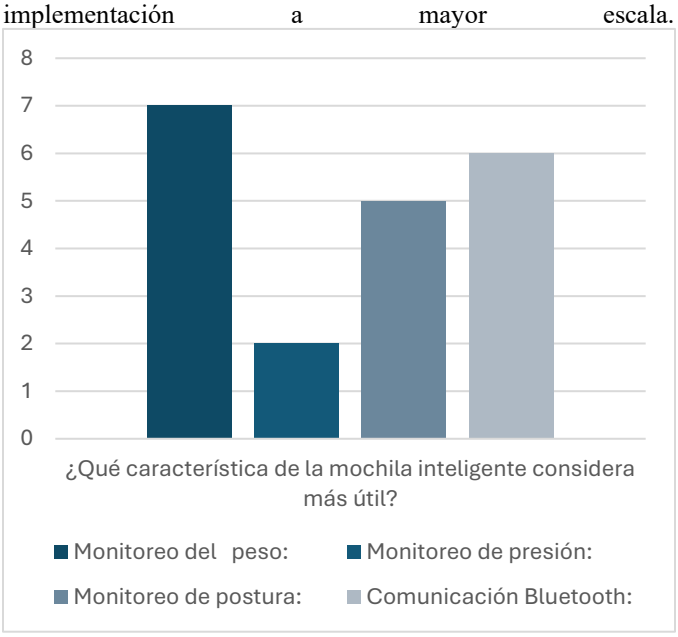


Fig. 22 Resultados de la pregunta N°8

Los resultados muestran que el monitoreo del peso es la característica más valorada por los participantes, lo que confirma que el control de la carga transportada constituye la principal necesidad identificada. La comunicación Bluetooth ocupa el segundo lugar, evidenciando interés por acceder a la información mediante dispositivos móviles. El monitoreo de postura también presenta una aceptación considerable, lo que refuerza la importancia de la prevención de problemas musculoesqueléticos. Finalmente, aunque el monitoreo de presión registra la menor preferencia, sigue representando una funcionalidad complementaria que aporta información relevante sobre la distribución de la carga.

VI. Conclusiones

El presente trabajo permitió desarrollar el diseño conceptual de un prototipo de mochila inteligente orientado al monitoreo del peso transportado, la presión ejercida sobre las zonas de apoyo y la detección de alteraciones posturales mediante la integración de sensores electrónicos y tecnologías asociadas al Internet de las Cosas (IoT). La propuesta responde a una problemática identificada en la población estudiantil relacionada con el transporte frecuente de cargas y sus posibles efectos sobre la salud musculoesquelética.

Se logró establecer una arquitectura funcional teórica basada en una celda de carga con módulo HX711, sensores FSR para el análisis de presión y un sensor MPU-6050 para la detección de inclinaciones y cambios posturales, complementada con un sistema de comunicación inalámbrica mediante Bluetooth para la transmisión de datos hacia dispositivos externos.

Los resultados de las encuestas evidenciaron que el 80% de los participantes *percibe* que su mochila suele ser pesada y el 75% ha experimentado dolor o fatiga asociados a su uso, diferenciando claramente dicha percepción subjetiva de una cuantificación objetiva de sobrecarga. Asimismo, se constató un amplio desconocimiento de los límites recomendados de carga, lo que confirma la necesidad de herramientas de concienciación.

Finalmente, la alta aceptación obtenida en las encuestas, con porcentajes superiores al 85% en los indicadores evaluados, demuestra que los usuarios perciben la mochila inteligente como una solución conceptual útil y atractiva. En consecuencia, el proyecto valida la aceptación potencial y el interés de los usuarios hacia el desarrollo de sistemas preventivos basados en IoT, estableciendo las bases para futuras fases enfocadas en la implementación física y la validación técnica experimental del prototipo.

VII. Discusiones

Los resultados obtenidos evidencian que el transporte de carga mediante mochilas constituye una actividad cotidiana para la totalidad de los estudiantes encuestados, situación que incrementa la exposición continua a factores de riesgo asociados al exceso de peso. El hecho de que el 80% de los participantes considere que su mochila suele ser pesada y que el 75% haya experimentado dolor, fatiga o molestias musculoesqueléticas coincide con los hallazgos reportados en la literatura científica sobre los efectos negativos del transporte de cargas superiores a los límites recomendados.

El 20% de los encuestados manifestó conocer el peso recomendado que debería transportar una mochila. Este resultado sugiere que gran parte de los estudiantes carece de información suficiente para autorregular la carga que transporta diariamente. Esta situación respalda los planteamientos de Dockrell, Simms y Blake [1], quienes establecen la importancia de mantener el peso de la mochila dentro de límites seguros para minimizar riesgos posturales y musculoesqueléticos. por Dockrell, Simms y Blake, quienes establecen que el peso de la mochila no debería superar entre el 10% y 15% del peso corporal del usuario; sin embargo, dichos límites suelen

excederse debido al desconocimiento y la falta de control del peso transportado [1]. Del mismo modo, Negrini y Carabalona sostienen que muchos estudiantes no perciben objetivamente el peso real que cargan, lo que dificulta la autorregulación y aumenta el riesgo de sobrecarga.

El 75% de los estudiantes encuestados manifestó haber experimentado dolor de espalda, hombros o fatiga debido al uso frecuente de mochilas. Este resultado guarda relación con las investigaciones de Negrini y Carabalona [2], quienes evidencian que transportar cargas superiores a las recomendadas incrementa significativamente la aparición de molestias musculoesqueléticas y dolor lumbar. De manera complementaria, la Revista Ciencia y Reflexión señala que el exceso de peso en mochilas escolares genera efectos negativos sobre la salud postural y la columna vertebral. Además, Dockrell et al. concluyen que las cargas excesivas provocan inclinaciones del tronco, alteraciones en la marcha y desequilibrios corporales que pueden derivar en problemas musculoesqueléticos crónicos [1].

Los resultados de la encuesta muestran una alta aceptación hacia la propuesta tecnológica planteada en el proyecto. El 90% de los participantes considera importante monitorear el peso transportado diariamente, mientras que el 85% manifestó interés en recibir alertas automáticas cuando la carga exceda niveles saludables. Asimismo, el 95% calificó como útil la implementación de una mochila inteligente y el 80% indicó que estaría dispuesto a utilizar una solución tecnológica orientada al cuidado postural.

Estos resultados respaldan los planteamientos de Meléndez, quien demuestra que la incorporación de sensores electrónicos y microcontroladores en mochilas permite monitorear el peso en tiempo real y generar alertas preventivas para reducir riesgos posturales [8]. De igual forma, la patente "Smart backpack system with load monitoring capability" demuestra la viabilidad técnica de integrar sistemas electrónicos de monitoreo y alertas dentro de mochilas inteligentes orientadas a mejorar la ergonomía y seguridad del usuario [9].

Además, los resultados obtenidos coinciden con los estudios de Tomal et al., quienes sostienen que incluso variaciones moderadas en el peso transportado pueden alterar la cinemática de la marcha y afectar el equilibrio corporal, resaltando la importancia del monitoreo continuo de carga [4]. Del mismo modo, Grimmer et al. concluyen que el exceso de peso en mochilas genera alteraciones en la alineación corporal y problemas posturales, especialmente en estudiantes en etapa de crecimiento [6].

La comparación entre los resultados de la encuesta y los antecedentes científicos revisados evidencia que la problemática identificada en la población estudiantil coincide con lo reportado en la literatura especializada. Asimismo, la elevada aceptación de la mochila inteligente demuestra la viabilidad y pertinencia de implementar soluciones tecnológicas orientadas al monitoreo de peso, presión y postura como estrategia preventiva frente a problemas musculoesqueléticos asociados al transporte de cargas excesivas.

REFERENCIAS

[1] S. Dockrell, C. Simms, and C. Blake, "Schoolbag carriage and schoolbag-related musculoskeletal discomfort among primary school children," *Appl. Ergon.*, vol. 51, pp. 281–290, Nov. 2015, doi: 10.1016/J.APERGO.2015.05.009.

[2] S. Negrini and R. Carabalona, "Backpacks on! Schoolchildren's perceptions of load, associations with back pain and factors determining the load," *Spine (Phila. Pa. 1976).*, vol. 27, no. 2, pp. 187–195, Jan. 2002, doi: 10.1097/00007632-200201150-00014.

[3] A. Brzęk *et al.*, "The weight of pupils' schoolbags in early school age and its influence on body posture," *BMC Musculoskelet. Disord.*, vol. 18, no. 1, Mar. 2017, doi: 10.1186/S12891-017-1462-Z.

[4] P. Tomal, A. Fryzowicz, E. Skorupska, and L. B. Dworak, "Influence of School Backpack Load as a Variable Affecting Gait Kinematics among Seven-Year-Old Children," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 7, p. 3843, Apr. 2022, doi: 10.3390/IJERPH19073843.

[5] H. W. Mackie, J. M. Stevenson, S. A. Reid, and S. J. Legg, "The effect of simulated school load carriage configurations on shoulder strap tension forces and shoulder interface pressure," *Appl. Ergon.*, vol. 36, no. 2, pp. 199–206, 2005, doi: 10.1016/j.apergo.2004.10.007.

[6] K. A. Grimmer, M. T. Williams, and T. K. Gill, "The associations between adolescent head-on-neck posture, backpack weight, and anthropometric features," *Spine (Phila. Pa. 1976).*, vol. 24, no. 21, pp. 2262–2267, Nov. 1999, doi: 10.1097/00007632-199911010-00015.

[7] E. René *et al.*, "Impacto del Peso de la Mochila Escolar en la Postura de Estudiantes: Un Enfoque Preventivo," *Ciencia y Reflexión*, vol. 4, no. 1, pp. 211–232, Apr. 2025, doi: 10.70747/CR.V4I1.97.

[8] R. Velasquez, F. ; Melendez Cobba, and E. Xavier, "Desarrollo de una mochila electrónica de monitoreo e identificación de alteraciones posturales por contenido pesado mediante sistemas embebidos," *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*, Jul. 2024, Accessed: May 10, 2026. [Online]. Available: https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/674790

[9] B. A. Almalki, "Self-weighing backpack with weight notification features," May 03, 2013