

Analysis of Ergonomic Risk in University Study Environments During Class Days

Jimena Alpiste, Renato Cardoso and Jossymar León

Biomedical Engineering, Universidad Peruana Cayetano Heredia (Lima, Perú)

Abstract—This study investigates the ergonomic impact of university seating on students' musculoskeletal health, focusing on lumbar muscle fatigue during prolonged study sessions. Using surface electromyography (sEMG) with BiTalino devices, the research compared muscle activation in ergonomic and non-ergonomic chairs over three-hour periods. The methodology involved signal processing techniques including Wavelet Daubechies 6 filtering, normalization, and RMS value extraction. Results suggest that non-ergonomic seating may be associated with increased lumbar stress, while ergonomic chairs showed no signs of muscle fatigue. However, the study faced limitations due to interruptions and uncontrolled environmental factors. The findings highlight the potential benefits of ergonomic seating in academic settings and underscore the need for further research under more controlled conditions to definitively establish the relationship between seating ergonomics and musculoskeletal disorders among university students.

Index Terms—Ergonomics, Musculoskeletal disorders, Electromyography, University seating, Lumbar fatigue

I. INTRODUCCIÓN

EN el entorno académico universitario, los estudiantes pasan una gran parte de su tiempo en actividades sedentarias, como asistir a clases y realizar tareas, lo que implica permanecer sentados por períodos prolongados [1] [2]. Aunque el mobiliario utilizado en las aulas debería satisfacer las necesidades ergonómicas de los alumnos, en muchos casos se emplean asientos y pupitres fijos que pueden inducir posturas forzadas [3][4], representando un factor de riesgo para el desarrollo de trastornos musculoesqueléticos (TME). Los TME son lesiones y molestias causadas por conductas repetitivas que implican realizar las mismas actividades durante un período prolongado [5].

Las consecuencias de no prevenir estos trastornos incluyen dolor crónico en la espalda, cuello y hombros, así como posibles complicaciones como cefaleas y entumecimiento en las extremidades [6]. Estos problemas no solo afectan la salud física, sino que también deterioran el rendimiento académico de los estudiantes al causar falta de concentración, agotamiento y disminución de la motivación. Además, la inactividad física prolongada y las malas posturas pueden aumentar el riesgo de desarrollar otras enfermedades, como problemas cardiovasculares, trastornos digestivos, respiratorios y psicológicos.

Los factores asociados con los TME pueden dividirse en tres categorías principales [5]: factores individuales, factores físicos y factores psicosociales. Las definiciones detalladas de cada categoría se encuentran en la Tabla 1. En este trabajo nos centraremos en la segunda categoría: Factores físicos. Esta categoría se relaciona directamente con la ergonomía.

Podemos definir la ergonomía como la ciencia que estudia cómo los humanos interactúan con su entorno de trabajo o uso, y aplica principios y métodos científicos para diseñar estos entornos y herramientas, mejorando así el bienestar de las personas y optimizando el rendimiento general [7].

Individuales	Género, Edad, Índice de masa corporal (IMC), nivel de actividad física.
Físicos	Equipos y estaciones de trabajo inadecuados, postura de trabajo, tiempo de trabajo y tiempo de descanso
Psicosociales	Demandas laborales, el control sobre el trabajo y el apoyo social en el entorno laboral

TABLE I: Factores asociados con los Trastornos musculoesqueléticos [5]

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los TME están profundamente relacionados con el sedentarismo, un estilo de vida cada vez más prevalente en contextos académicos y profesionales. Esta interconexión se manifiesta claramente en los resultados de diversos estudios que destacan el alto nivel de inactividad entre los estudiantes universitarios.

Por ejemplo, en Perú, Rodríguez Castilla Flor (2019) [8] descubrió que el 66.4% de los estudiantes de la Universidad Nacional Federico Villarreal permanecían sentados entre 5 y 10 horas diarias, evidenciando un comportamiento sedentario de nivel moderado a alto. De forma similar, un estudio en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (2020) [9] reveló que el 49.6% de los estudiantes pasaban un tiempo comparable en la misma postura, categorizado como sedentarismo medio.

En Colombia, la situación es igualmente preocupante. Rangel E., Rojas D. y Gamboa F. (2015) [10] también investigaron a 306 estudiantes universitarios colombianos de 18 a 26 años, descubriendo que más de la mitad de los estudiantes encuestados pasaban hasta 12 horas diarias sentados, subrayando una marcada inactividad física.

Durante el confinamiento por la pandemia en India, Akulwar et al. (2020) [6] realizaron un estudio con 223 universitarios, encontrando que el 77.5% de los participantes pasaba más de cuatro horas al día frente a dispositivos digitales. Estas largas horas frente a la pantalla no solo incrementaron el sedentarismo, sino que también condujeron a posturas inadecuadas: el 69.2% de los estudiantes admitió adoptar malas posturas al sentarse y el 51.8% reportó posiciones recostadas. Como resultado, el 66.7% manifestó dolor

lumbar, el 33.4% experimentó dolor cervical y el 31.9% sufrió dolor torácico, con un 44.7% de los casos atribuidos a una ergonomía inadecuada.

Asimismo, la correlación entre la falta de ergonomía en los entornos académicos y la alta incidencia de TME entre estudiantes universitarios se ha reafirmado con claridad en diversos estudios recientes. Estos hallazgos evidencian una preocupante incompatibilidad entre las necesidades físicas de los estudiantes y las instalaciones educativas disponibles. Por ejemplo, un estudio realizado por Taifa et al. [11] en India resaltó una incidencia significativa de TME, con el 71% de los participantes reportando dolor en articulaciones y músculos fatigados, el 70% tensión en hombros y cuello, y el 63% sufriendo de dolores de cabeza, todos síntomas atribuidos al uso prolongado de mobiliario mal diseñado.

De manera similar, la investigación de Srirug et al. sobre estudiantes tailandeses en aulas virtuales identificó trastornos recurrentes en hombros, cabeza, cuello y zona lumbar, vinculando estos problemas directamente a posturas ergonómicas inadecuadas y largas horas de estudio sin descansos adecuados [5]. Además, en una revisión sistemática, Bai et al. destacaron cómo la mala ergonomía del mobiliario escolar, que no se ajusta a las dimensiones corporales de los estudiantes, provoca molestias y dolor durante jornadas extendidas, afectando negativamente la postura y el desarrollo físico de los alumnos [12].

En conclusión, se ha identificado una problemática significativa en el entorno académico, particularmente en lo que respecta a la ergonomía de los asientos universitarios. Los estudios mencionados anteriormente muestran que el diseño inadecuado de estos asientos conduce a una sobrecarga muscular y postural, resultando en síntomas como dolor muscular, rigidez y fatiga. Estos efectos no solo afectan negativamente el rendimiento físico y académico de los estudiantes en el corto plazo, sino que también incrementan el riesgo de sufrir TME a largo plazo. Está claro que esta situación representa una amenaza seria para el bienestar general de los estudiantes, haciendo imperativa la necesidad de abordar y mejorar la ergonomía de los espacios educativos para asegurar un ambiente de aprendizaje saludable y productivo.

III. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Frente a la problemática identificada, se ha decidido llevar a cabo un estudio comparativo de las señales electromiográficas (EMG) registradas en diferentes entornos de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Para este propósito, se seleccionará a los estudiantes como población de estudio y se evaluará la ergonomía de los asientos en simulaciones jornadas de estudio utilizando el sistema embebido BiTalino. Este método permitirá documentar de manera precisa cómo afecta el diseño actual de los asientos a la salud musculoesquelética de los estudiantes.

Los resultados del estudio proporcionarán una base sólida para impulsar cambios en el diseño de los asientos y estaciones de trabajo en los distintos ambientes de la universidad. Implementando soluciones ergonómicas que se alineen con estos

hallazgos, se espera mejorar significativamente la salud y el rendimiento académico de los estudiantes, al reducir la fatiga muscular y fomentar una postura corporal adecuada durante las actividades académicas.

IV. METODOLOGÍA

A. Acercamiento a la metodología

Para evaluar el sobreesfuerzo de los músculos extrínsecos de la zona lumbar asociado a una mala postura de los estudiantes debido a un diseño poco ergonómico de los muebles de sus salones de estudio, se realizó una comparación de la activación muscular a través del potencial eléctrico de los músculos (Electromiografía) de la zona lumbar. Para ello se evaluaron a 2 sujetos durante un periodo aproximado de 3 horas haciendo uso de 2 tipos de silla (Fig.1A y Fig.1B) previamente divididas entre ergonómica y no ergonómica según las especificaciones de cada una y se comparó con los criterios de ergonomía que se centran en la altura, profundidad, medidas de respaldo, ángulo de respaldo, soporte lumbar, entre otros tal como se observa en la tabla II. Las especificaciones de cada silla se pueden observar en la tabla III .



Fig. 1: Sillas evaluadas: (A) Silla ergonómica en la Biblioteca Central. (B) Silla no ergonómica en el Laboratorio de Prototipado.

Criterio	Descripción
Altura del asiento	En el rango de 399-512 mm, más 25 mm para zapatos; asegura que los pies reposen en el suelo y las rodillas formen 90 grados.
Profundidad y ancho del asiento	Profundidad de 450 mm para soportar el muslo; ancho de 430 mm para comodidad y espacio para movimientos laterales.
Medidas del respaldo	420 mm de ancho y 500 mm de altura para soportar la espalda superior y hombros, favoreciendo postura erguida.
Ángulo del respaldo	Ángulo de respaldo ajustable a 110° para permitir reclinación y reducir presión en la columna, variando la postura.
Altura de los reposabrazos	Permite que los codos descansen a 90 grados y mantiene los hombros relajados.
Soporte lumbar	Ajustable en altura y profundidad, apoya la curvatura natural de la columna, previene lesiones lumbar y reduce tensión.
Material del asiento	Transpirable, equilibra firmeza y acolchado para comodidad y soporte.

TABLE II: Criterios para una silla ergonómica[5]

Criterio	Silla ergonómica	Silla no ergonómica
Altura del asiento	410 mm	700 mm
Profundidad del asiento	430 mm	300 mm
Ancho del asiento	430 mm	300 mm
Ancho del respaldo	430 mm	No cuenta con respaldo
Altura del respaldo	420 mm	No cuenta con respaldo
Ángulo del respaldo	115°	No cuenta con respaldo
Altura de los reposabrazos	No cuenta con apoyo	No cuenta con apoyo

TABLE III: Evaluación ergonómica de las sillas

El presente trabajo de investigación buscó cuantificar la fatiga en la zona lumbar haciendo uso de la técnica de la electromiografía de superficie (sEMG) mediante la implementación de BiTalinos y hacer un análisis continuo de la señal para identificar el tiempo y el momento donde el músculo de la zona lumbar experimenta estrés de fatiga. Las conexiones y configuraciones de la prueba, así como el instrumental empleado se muestran en la Fig. 2



Fig. 2: Recolección de datos con el kit Bitalino

B. Materiales

En el procedimiento experimental se hizo uso principalmente de un BiTalino, el cual es un dispositivo de adquisición de señales biosensores diseñado para la monitorización y registro de diferentes señales fisiológicas, el dispositivo cuenta con electrodos o sensores incorporados para medir diferentes señales biológicas, como el electrocardiograma (ECG), la electromiografía (EMG), la actividad electrodermal (EDA), la acelerometría y la temperatura, de la cual usaremos el sensor de electromiografía. Se hicieron uso de electrodos de piel, los cuales se dispusieron de acuerdo a la guía realizada para el uso del BiTalino para extraer señales EMG[13].

En cuanto al procesamiento de las señales EMG, se hizo uso del lenguaje de programación Python, dentro de la plataforma Visual Studio Code con el objetivo de hacer uso de las bibliotecas y recursos disponibles que esta plataforma y lenguaje nos brinda para el procesamiento de este tipo de señal, tal como el ventaneo, filtrado, normalización y ploteo de esta.

C. Adquisición de datos

Se utilizó un dispositivo BiTalino para la extracción de la señal electromiográfica (EMG). Las mediciones se realizaron durante un período continuo de 3 horas en dos tipos diferentes de sillas. La colocación de los electrodos se realizó siguiendo las directrices proporcionadas por el fabricante, como se mostró en la figura 2.

D. Procesamiento de la señal

El procesamiento de la señal electromiográfica (EMG) implica una serie de pasos meticulosos diseñados para extraer información significativa de los datos brutos. A continuación, se detalla cada paso del proceso:

Lo primero que se realizó fue una conversión analógica-digital debido a que necesitó procesarla digitalmente, este proceso se le conoce como muestreo, capturando la señal en intervalos regulares y permitiendo su representación digital. El filtrado se realizó haciendo uso de una Wavelet Daubechies 6 (Db6) de cuarto orden, este tipo de filtros son más efectivos para señales biomédicas como la EMG, ya que pueden separar efectivamente el ruido de la señal real. El filtro Db6 se eligió basándose en el estudio de Sun et al- [14], que demostró que proporciona una mayor relación señal ruido (SNR), mayor relación señal-ruido pico (PSNR) y un menor error cuadrático medio (RMSE), dichos parámetros indican una mejor preservación de la señal original mientras se elimina el ruido de manera más efectiva.

Para la etapa de normalización se hizo uso del método de Contracción Voluntaria Máxima (MVC), este proceso permite comparaciones entre diferentes individuos o músculos. El método MVC consiste en: Identificar el valor máximo de amplitud en la señal y dividir todos los valores de la señal por este máximo, este último da como resultado una señal donde todos los valores entran entre 0 y 1, facilitando la comparación y el análisis posterior. Los valores normalizados se guardaron en un archivo CSV (Comma-Separated Values). Este formato es ampliamente compatible y permite un fácil acceso y manipulación de los datos en etapas posteriores del análisis [15]. Para la segmentación (windowing), la señal se dividió en segmentos más pequeños o "ventanas" para su análisis. Se hizo uso de ventanas de 50 milisegundos con un paso de 25 milisegundos, todo esto con el objetivo de reducir la carga computacional, capturar cambios en la señal a lo largo del tiempo y aplicar análisis estadísticos a segmentos específicos de la señal.

Para cada ventana se calculó el valor RMS (Root Mean Square) el cual es una medida estadística que proporciona información sobre la amplitud y energía de la señal EMG, se toma la raíz cuadrada del promedio de cuadrados de los valores en cada ventana, reflejando el nivel de activación muscular. Las características extraídas de los valores RMS calculados para cada ventana fueron almacenados en un array (estructura de datos que contiene una colección ordenada de elementos) para su posterior análisis.

Finalmente se realizó un ajuste lineal de todos los valores RMS extraídos. Este paso implicó encontrar la línea recta que mejor se ajusta a la tendencia general de los datos RMS a lo largo del

tiempo. Esto nos permitió visualizar la tendencia general de la activación muscular durante el período de registro y cuantificar la activación muscular a lo largo del tiempo, lo que tendería a indicar fatiga.

E. Análisis de datos

Se realizó una comparación de las pendientes de los ajustes lineales para analizar en qué punto y tiempo se presenta fatiga en el músculo estudiado.

V. RESULTADOS

A. Señal indicativa de ambiente con asientos ergonómicos

Luego de realizar el respectivo procesamiento de la señal adquirida se obtuvieron los siguientes resultados de la medición en el ambiente “ergonomico”. Fig 3. Donde se puede observar el RMS.

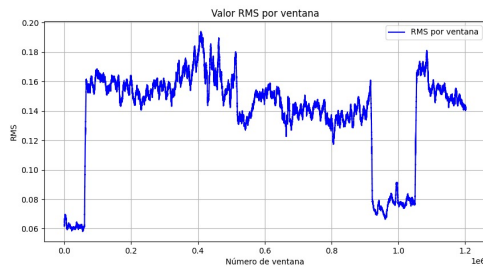


Fig. 3: Ploteo de RMS obtenidos de señal en asiento ergonómico

Luego de realizar el ajuste lineal Fig 4. Se pudo observar que la pendiente obtenida es de tendencia negativa, indicando una menor activación de la musculatura lumbar indicando inclusive que el sujeto de prueba está en un proceso de relajación y recuperación muscular.

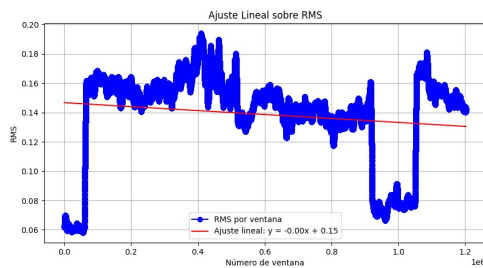


Fig. 4: Ploteo de RMS junto a su Ajuste lineal

B. Señal indicativa de ambiente con asientos no ergonómicos

En la figura 5. Se puede observar que hay mesetas en la medición indicando que no hay una activación muscular considerable, sin embargo las mesetas varían su posición en el tiempo. Donde el sujeto de prueba se pudo haber movido o interrumpido la posición de su asiento original, si bien este es un inconveniente a la hora de realizar este tipo de análisis, el simular las condiciones normales de una clase nos

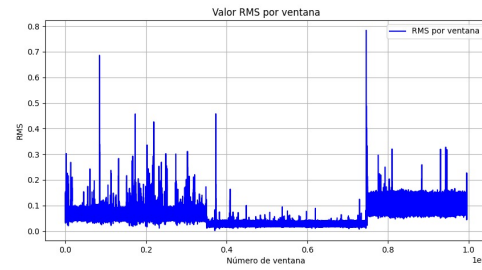


Fig. 5: Ploteo de RMS obtenidos de señal en asiento no ergonómico

puede ayudar a realizar un reenfoque en las aplicaciones y los resultados obtenidos.

En la figura 6. Donde ya realizamos el ajuste lineal, podemos observar una recta con una pendiente no muy pronunciada, puede deberse a lo mencionado anteriormente. Sin embargo, la recta aún cuenta con tendencia positiva indicando que hay estrés lumbar por el uso del asiento en jornadas prolongadas de estudio.

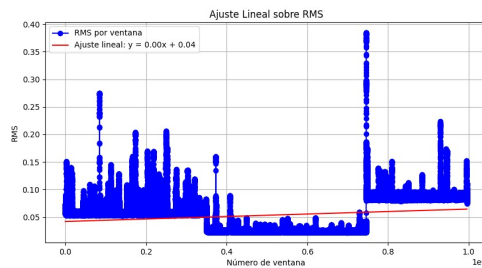


Fig. 6: Ploteo de RMS junto a su Ajuste lineal

VI. CONCLUSIONES

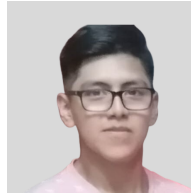
Los resultados del estudio en el laboratorio de prototipado sugieren que el uso prolongado de asientos que no cumplen con los estándares ergonómicos básicos podría estar asociado con señales de estrés. No obstante, la pequeña pendiente observada en la señal indica que no podemos confirmar de manera concluyente la presencia de fatiga lumbar sin realizar mediciones adicionales en un ambiente más controlado y sin interrupciones que podrían alterar los resultados.

En cuanto a los asientos de la biblioteca, que sí cumplen con los requisitos ergonómicos, los datos obtenidos sugieren que no hay presencia de fatiga muscular, permitiendo concluir que estos asientos son adecuados para jornadas prolongadas de estudio. Sin embargo, al igual que en el laboratorio de prototipado, las interrupciones también estuvieron presentes y la pendiente de la señal no fue significativa. Esto implica que también sería beneficioso realizar pruebas en condiciones más controladas para evitar que las interrupciones afecten la calidad de los datos recogidos.

REFERENCES

- [1] V. Cascioli, A. I. Heusch, y P. W. McCarthy, “Does prolonged sitting with limited legroom affect the flexibility of a healthy subject and their perception of discomfort?”, *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 41, núm. 5, pp. 471–480, 2011.

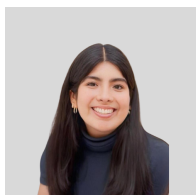
- [2] H. I. Castellucci, P. M. Arezes, y C. A. Viviani, "Mismatch between classroom furniture and anthropometric measures in Chilean schools", *Appl. Ergon.*, vol. 41, núm. 4, pp. 563–568, 2010.
- [3] M. K. Gouvali y K. Boudolos, "Match between school furniture dimensions and children's anthropometry", *Appl. Ergon.*, vol. 37, núm. 6, pp. 765–773, 2006.
- [4] L. Fasulo, A. Naddeo, and N. Cappetti, "A study of classroom seat (dis)comfort: Relationships between body movements, center of pressure on the seat, and lower limbs' sensations," *Applied Ergonomics/Applied ergonomics*, vol. 74, pp. 233–240, Jan. 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.08.021>.
- [5] P. Srirug, K. Jongjit, O. Muansri, Y. Somton, N. Kongbankhong, y P. Sengsoon, "Prevalence and factor associated work-related musculoskeletal disorders of students in virtual classroom", *Heliyon*, vol. 9, núm. 8, p. e18461, 2023.
- [6] Isha Akulwar-Tajane, Musfira Darvesh, Maithili Ghule, and Vedika Mhatre, "Effects of COVID -19 Pandemic Lock Down on Posture in Physiotherapy Students: A Cross Sectional Study," *ResearchGate*, Jan. 02, 2021.
- [7] Ismail Wilson Taifa and D. A. Desai, "Anthropometric measurements for ergonomic design of students' furniture in India," *Engineering science and technology, an international journal*, vol. 20, no. 1, pp. 232–239, Feb. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2016.08.004>.
- [8] F. Rodríguez Castilla, "Actividad física en estudiantes de terapia física y rehabilitación de la Universidad Nacional Federico Villarreal," *Unfv.edu.pe*, Oct. 2019, doi: <https://hdl.handle.net/20.500.13084/3761>.
- [9] V. Zapata, "Nivel de actividad física en estudiantes de Tecnología Médica del área de Terapia Física y Rehabilitación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima2020 ," *Unmsm.edu.pe*, 2021. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/2fed8002-721d-4f2d-b2f8-a8e2e49c055a>
- [10] L. Rangel, L. Rojas, and E. Gamboa, "Sobrepeso y obesidad en estudiantes universitarios colombianos y su asociación con la actividad física," *Nutrición Hospitalaria*, vol. 31, no. 2, pp. 629–636, 2015, Accessed: Jul. 03, 2024. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309233495012>
- [11] I. W. R. Taifa, "A student-centred design approach for reducing musculoskeletal disorders in India through Six Sigma methodology with ergonomics concatenation", *Saf. Sci.*, vol. 147, núm. 105579, p. 105579, 2022.
- [12] Y. Bai, K. M. Kamarudin, y H. Alli, "A systematic review of research on sitting and working furniture ergonomic from 2012 to 2022: Analysis of assessment approaches", *Heliyon*, vol. 10, núm. 7, p. e28384, 2024.
- [13] Z. Sun, X. Xi, C. Yuan, Y. Yang, and X. Hua, "Surface electromyography signal denoising via EEMD and improved wavelet thresholds," *Mathematical biosciences and engineering*, vol. 17, no. 6, pp. 6945–6962, Jan. 2020, doi: <https://doi.org/10.3934/mbe.2020359>. [6] "An Improved Feature Extraction Method for Surface Electromyography Based on Muscle Activity Regions", *IEEE Journals Magazine | IEEE Xplore*, 2023. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10168895>
- [14] "Welcome to SENIAM", *Seniam.org*. [En línea]. Disponible en: <http://www.seniam.org/>. [Consultado: 03-jul-2024].
- [15] M. Halaki y K. Gi, "Normalization of EMG signals: To normalize or not to normalize and what to normalize to?", en *Computational Intelligence in Electromyography Analysis - A Perspective on Current Applications and Future Challenges*, G. R. Naik, Ed. Londres, Inglaterra: InTech, 2012.



Jossymar León Estudiante de octavo ciclo de la carrera de Ingeniería Biomédica del Convenio de la Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Interesado en el campo de la ingeniería clínica y la investigación en el área de señales e imágenes biomédicas.



Renato Cardoso Estudiante de la carrera de Ingeniería Biomédica del Convenio de la Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Curso mi octavo ciclo y deseo especializarse en las ramas de Biomecánica y Rehabilitación e Ingeniería de tejidos. Especialmente en la primera, mi objetivo es encargarme desarrollar diversas prótesis y órtesis de apoyo.



Jimena Alpiste Estudiante de octavo ciclo de la carrera de Ingeniería Biomédica del Convenio de la Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Interesada en el campo de la ingeniería clínica y la investigación en el área de tejidos y biomateriales