



UNIÓN DE ASOCIACIONES
DE INGENIEROS TÉCNICOS
INDUSTRIALES Y GRADUADOS
EN LA INGENIERÍA DE LA
RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA

UNIÓN DE ASOCIACIONES DE INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES Y GRADUADOS EN INGENIERÍA DE LA RAMA INDUSTRIAL DE ESPAÑA (UAITIE)

“CONVOCATORIA 2026”

XI PREMIO NACIONAL DE INICIACIÓN A LA INVESTIGACIÓN
TECNOLÓGICA

SILLA INTELIGENTE PARA LA MEJORA DEL CONTROL POSTURAL DEL ALUMANDO

Análisis ergonómico de la silla académica del IES Plaza de la Cruz con propuesta de mejora

AUTOR/ES:

Miren Luna Abad
Omar Jeddí Mounir
Eric Díaz Mendaza

BLOQUE TEMÁTICO:

Mecatrónica

NIVEL EDUCATIVO:

2º de Bachillerato

COORDINADOR:

Íñigo García Azpiroz

Marzo-2026



Resumen

El proyecto parte de la necesidad de prevenir los problemas derivados de una mala postura en estudiantes de 12 a 18 años mediante el diseño de una silla ergonómica adaptada a sus medidas antropométricas. Para ello se desarrollan dos estudios complementarios.

El primero consiste en crear un prototipo capaz de monitorizar la postura del alumnado. Este sistema emplea *Velostat*, un material piezorresistivo que varía su resistencia eléctrica según la presión aplicada, permitiendo medir de forma cuantitativa cómo se sientan los estudiantes. A partir de este material, integrado en las sillas actuales del centro, se construye el sistema de detección. Además, se define un método de notificación de malas posturas basado en retroalimentación háptica: una pulsera vibratoria que avisa al estudiante sin generar distracción visual o auditiva, lo que hace que la corrección postural sea más natural y no interfiera en el entorno de clase. Una vez elaborado el prototipo, se seleccionará una muestra de 60 alumnos del IES Plaza de la Cruz, equilibrada en proporción de género y perteneciente a distintos cursos, con el fin de evaluar la eficacia del sistema y medir posibles distracciones mediante una encuesta posterior.

El segundo estudio propone el diseño de un modelo 3D de una silla académica ergonómica que mejore las estructuras actuales del instituto. Para ello se consideran factores clave como la forma, las dimensiones y los materiales de cada componente, siguiendo principios de ergonomía e higiene postural. Este estudio se centra en redefinir la estructura de la silla y en ajustar las medidas para garantizar que se adapte correctamente a la diversidad física del alumnado, favoreciendo una postura saludable a largo plazo.

Palabras Clave

Ergonomía escolar, higiene postural, seguimiento postural, silla inteligente, sensores de presión

Enlace al vídeo <https://youtu.be/IOhM3XrSiW4?si=5Tr4Y7y6a8kL0Jt->



Índice

| | |
|--|-----------|
| Resumen..... | 2 |
| Palabras Clave..... | 2 |
| Índice..... | 3 |
| | |
| 1. Introducción. | 4 |
| 2. Objetivos | 5 |
| 3. Metodología | 5 |
| Fase 1: Implementación de sensor y pruebas con el alumnado | |
| 3.1. Procedimiento: pasos seguidos para conseguir el diseño de una silla ergonómica inteligente | 5 |
| 3.2. Materiales | 6 |
| 3.3. Muestra y recogida de información | 8 |
| Fase 2: Análisis ergonómico de la silla del IES Plaza de la Cruz | |
| 3.4. Procedimiento | 9 |
| 4. Resultados | 9 |
| 4.1. Elaboración de los sensores/elección de la resistencia fija del circuito | 9 |
| 4.2. Pruebas con los sensores en la silla y su fijación | 9 |
| 4.3. Preparación de los componentes físicos del sistema y el programa del dispositivo | 11 |
| 4.4. Resultados del formulario y su análisis | 12 |
| 4.4.1. Análisis de la muestra | 12 |
| 4.4.2. Análisis de resultados generales | 12 |
| 4.4.3. Análisis de resultados: relación entre variables | 13 |
| 4.5. Análisis ergonómico | 15 |
| 4.5.1. Principios de ergonomía en sillas | 15 |
| 4.5.2. Análisis de la silla del IES Plaza de la Cruz | 16 |
| 5. Conclusión | 18 |
| 6. Referencias | 19 |

1. Introducción

El desarrollo de una **silla inteligente** surge de la necesidad crítica de abordar la higiene postural en el entorno educativo, un factor determinante para la salud a largo plazo. La investigación actual demuestra que los hábitos adquiridos en la etapa escolar no solo afectan el bienestar presente del alumnado, sino que condicionan su salud física y profesional en la edad adulta.

El impacto de la mala postura en salud viene avalado por la literatura científica: los episodios de dolor de espalda en edades tempranas actúan como signos premonitorios de patologías crónicas futuras (Chiang et al., 2006). Dado que la población escolar se encuentra en un periodo de crecimiento continuo, es especialmente vulnerable a las dolencias musculoesqueléticas (Urbina et al., 2010). Esta vulnerabilidad se refleja en datos alarmantes: aproximadamente el 50% de los adolescentes ya padecen o son enfermos potenciales de la espalda

A pesar de esta realidad, existe una carencia significativa de conocimientos en el alumnado sobre hábitos posturales saludables. Es imperativo abordar la higiene postural desde la infancia para prevenir lesiones graves y evitar daños irreversibles en la etapa adulta (Figura 1).

Las consecuencias y los factores de riesgo de una postura inadecuada no se limita a molestias localizadas; produce un impacto sistémico que incluye: 1) Alteraciones fisiológicas que producen cambios negativos en la respiración, intensificación del trabajo cardíaco y pérdida de energía (Pérez et al., 2019); 2) generan problemas sensoriales y estructurales como la aparición de miopía y deformaciones en la columna como la cifosis o la escoliosis, existiendo una correlación directa entre la mala postura y el riesgo de desarrollar esta última (Pérez et al., 2019; Fayyaz et al., 2018).

Los factores que agravan esta situación incluyen el diseño deficiente del mobiliario, el estatismo prolongado (OSHA, 2023) y la carga de trabajo mental (NIOSH, 2024). En este sentido, la silla debe evolucionar para proporcionar los ajustes necesarios que garanticen una postura relajada y un apoyo total. El problema trasciende el aula. En la edad adulta, la mala higiene postural se convierte en la segunda causa de absentismo laboral (Reguera et al., 2018). Además, patologías como la lumbalgia, hernias discales o cervicalgia no solo afectan la salud física, sino que impactan en la apariencia y la autoconfianza, especialmente durante la adolescencia, un periodo crítico de inseguridad personal (Cabrera y Pugo, 2018).

Por todo ello, este proyecto propone la creación de una solución tecnológica avanzada que, mediante el control postural activo, mitigue estos riesgos y promueva un desarrollo saludable y eficiente del alumnado.

2. Objetivos

O₁: Proponer un sistema económico para el seguimiento postural que garantice el apoyo máximo o total de los usuarios en las sillas de aula.

O_{1.1}: Aplicar el sistema propuesto en las sillas del centro educativo para comprobar su efectividad en los alumnos.

O₂: Implementar un sistema de notificación de posturas incorrectas que no suponga una distracción para los alumnos y les resulte intuitivo.

O₃: Proponer una remodelación de la estructura de las sillas del centro educativo para que tengan la capacidad de ajuste a diferentes medidas y aseguren la postura correcta del alumnado mediante modelado 3D.

De los objetivos citados, se han derivado una serie de hipótesis:

H₁: El prototipo económico conformado por el sensor piezoeléctrico *Velostat* conectado a un microcontrolador ESP32 será capaz de medir con precisión (índice de éxito igual o mayor al 90%) si los usuarios están apoyados o no en las diferentes partes de la silla.

H₂: Las vibraciones en una pulsera serán capaces de hacer saber a los alumnos que se están sentando incorrectamente sin distraerles en gran medida de la clase. La distracción será medida mediante una encuesta después de que los alumnos utilicen la silla inteligente.

H₃: Una nueva estructura con un soporte más grande, un pequeño ángulo de inclinación en la zona donde la columna está curvada naturalmente y algunos ajustes sencillos será más efectiva para que los alumnos tengan una higiene postural más correcta que en las sillas actuales.

3. Metodología

Fase 1: Implementación de sensor y pruebas con el alumnado

3.1. Procedimiento: pasos seguidos para conseguir el diseño de una silla ergonómica inteligente

a) Diseño y desarrollo de sensores con *Velostat*.



- b) El montaje del circuito eléctrico, en el cual se debió tener en cuenta la necesidad de un circuito individual para cada sensor. La independencia de los sensores fue la base para la determinación de si un sensor estaba siendo presionado o no, lo que permitió conocer el estado de la postura del alumnado.
- c) Calibración de los sensores. Fue necesario establecer un valor mínimo, un umbral, qué indicase cuando alguien estaba sentado o apoyado sobre el sensor.
- d) Planificación y selección del microcontrolador más adecuado para controlar estos sensores. Se optó por el ESP32.
- e) Pruebas experimentales para determinar la ubicación óptima y el número adecuado de sensores.
- f) Desarrollo del *software* encargado del procesamiento de los datos obtenidos por los sensores.
- g) Soldadura y ensamblaje para fijar los distintos componentes del sistema.
- h) Integración completa del dispositivo en la silla académica correspondiente.

3.2. Materiales

Silla: Es la más utilizada entre los alumnos del IES Plaza de la Cruz (Figura 2).

Velostat: Material semiconductor para construir sensores, generalmente vendido en forma de láminas (Figura 3).

Circuito y esquema eléctrico: Conductores de electricidad de cobre para transportar la electricidad y crear el circuito eléctrico, pila y resistencias fijas. En las Figuras 4 y 5 se observa que el esquema eléctrico utilizado para medir la presión mediante el *Velostat* es un divisor de tensión. El objetivo es obtener un amplio rango de voltaje de salida para cada sensor, para así detectar de manera precisa si están siendo presionados o no.

Microcontrolador ESP32: Sirve para el procesamiento de datos y la ejecución de órdenes. Es de doble núcleo que consta de WiFi y Bluetooth de modo dual de 2,4 GHz integrado del fabricante YWBL-WH. Su vía de conectividad es mediante USB y tiene compatibilidad con sensores, que es lo que interesa para este prototipo (Figura 6).

Reloj programable: Transmite las notificaciones a los alumnos en forma de vibración. Se ha optado por el LILYGO Wrist ESP32, compatible con el microcontrolador de la silla (Figura 7).

Programas informáticos: Se han utilizado las Hoja de cálculo de Google para elaborar gráficos del análisis estadístico, el PSPP para realizar la relación de variables



en el análisis estadístico, y el IDE de Arduino para programar el Microcontrolador ESP32 (con diferentes librerías descargadas) y la programación del reloj inteligente



Figura 1.- Ejemplo de una buena postura sentado Nota: Imagen tomada de Openshaw y Taylor (2006)



Figura 2.- Imagen de silla del IES Plaza de la Cruz. Fuente: Elaboración propia



Figura 3.- Lámina de Velostat. Fuente: Imagen tomada del fabricante (microlog, nd)

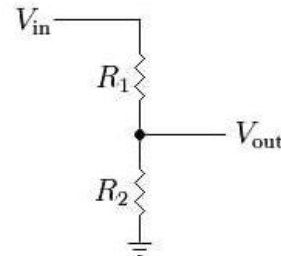


Figura 4.- Esquema eléctrico de un divisor de tensión. Fuente: UPNA

Leyenda:

V_{in} = Voltaje de entrada

V_{out} = Voltaje de salida

R_1 = Resistencia del sensor

R_2 = Resistencia fija

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in}$$

Figura 5.- Ecuación del divisor de tensión.

Fuente: UPNA

Leyenda:

V_{in} : Tensión o voltaje de entrada

V_{out} : Tensión o voltaje de salida

R_1 : Resistencia fija.

R_2 : Resistencia del sensor



Figura 6.- Microcontrolador ESP32. Fuente: Imagen tomada de Amazon (<https://www.amazon.es/desarrollo-Procesador-microcontrolador-Bluetooth-integrado/dp/B07S1GGM35>)

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{E^2}$$



Figura 7.-Reloj programable.
Elaboración propia.

Fuente: **Figura 8.- Fórmula para definir el tamaño de muestra para una proporción en una población infinita**

Leyenda:

E = Margen de error

Z = Distribución normal estándar para el nivel de confianza deseado. Por ejemplo, para un 95%, Z es de 1,96.

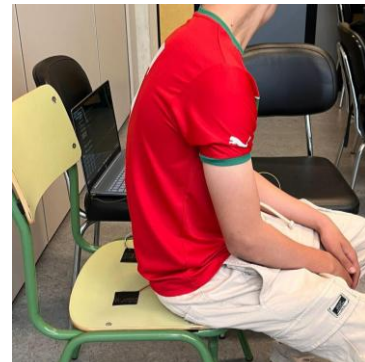
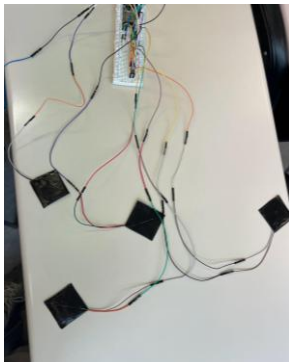
p = Porcentaje de éxito de la muestra analizada

n = Número de muestras

3.3. Muestra y recogida de información

Para escoger el número de alumnos que han participado en la muestra se ha basado en la fórmula de la Figura 8. Se ha realizado un estratificado entre los cursos de 1º ESO hasta 1º Bachillerato, con una proporción igual de chicos y chicas. Se ha decidido escoger una muestra de 60 alumnos para que diese un 90% de nivel de confianza para un margen de error entre 5 y 10%. Se eligen 10 alumnos de cada curso, donde la mitad de ellos son chicas y la otra mitad chicos. Sin embargo, el número de alumnos que pudieron contestar al formulario enviado tras utilizar la silla fue de 43 alumnos. Las pruebas (Figura 9) fueron realizadas en 9 días, durante cada sesión de 55 minutos, 2 alumnos utilizaban la silla, uno durante la primera mitad y el otro la segunda mitad del tiempo. En este [enlace](#) se encuentra el formulario que se ha utilizado para tratar de analizar diferentes aspectos y sacar conclusiones sobre cada uno de ellos. Tras reunir las respuestas de los formularios se aplicó la prueba de medida estadística no paramétrica de Kruskal-Wallis para medir la significación, debido a que la muestra utilizada no tiene una distribución normal.

Figura 9.-Pruebas con los sensores en la silla



Nota: Elaboración propia.



Fase 2: Análisis ergonómico de la silla del IES Plaza de la Cruz

Otro de los objetivos establecidos era la elaboración de un modelo 3D de una silla ergonómica de aula en la que se corrigen los errores de la silla del instituto. Sin embargo, debido a la limitación de tiempo y a que no se iba a realizar el apartado con profundidad, se reformuló la Fase 2. En ella se realizó un análisis ergonómico de la silla académica y se propusieron ciertas mejoras. La base para realizar la propuesta fueron los principios de higiene postural y la guía de diseño ergonómico estudiadas.

3.4. Procedimiento

- a) Definir los principios de ergonomía e higiene postural seleccionando los de las fuentes analizadas.
- b) Analizar componentes de la silla del IES Plaza de la Cruz proponiendo mejoras.

4. Resultados

4.1. Elaboración de los sensores y elección de la resistencia fija del circuito eléctrico

Del estudio se desprende la idoneidad de usar y montar sensores piezorresistivos (Faith et al, 2024). Esto permite detectar cuando un sensor está siendo presionado o no, y hace que tras instalar varios sensores se puedan clasificar las posturas de los alumnos y enviar notificaciones a estos. El *Velostat* es el que se elige por ser un material piezorresistivo económico y versátil que permite producir estos sensores para cuantificar la presión. Se han utilizado tres capas de *Velostat* en lugar de una porque así se consiguen mayores rangos de resistencia en el circuito eléctrico de divisor de tensión, haciendo más precisa la lectura de los valores a la hora de calcular la presión (Krauter et al, 2024) (Figura 4).

Una vez diseñados y probados los sensores, se elige la resistencia fija que forma parte del divisor de tensión. El objetivo es conseguir una resistencia que ofrezca el mayor rango entre 0 y 3,3V. La elección se ha llevado a cabo mediante prueba y error. Se sustituye la resistencia fija del circuito y con un sensor se comprueba el rango que ofrece dicha resistencia. Se utilizan varios sensores para comprobar que el rango es correcto, y que no son los sensores los erróneos. En la Tabla 1 se muestra la prueba realizada con la resistencia fija de 2000Ω y los sensores citados. La V_{\max} señala el valor cuando el sensor no está siendo pulsado, y la V_{\min} cuando se pulsa. Tras obtener las diferencias se calcula el rango de valores promedio entre 0 y 3,3V obtenido en cada

resistencia. Las pruebas completas se encuentran en el Tabla 4. Este mismo proceso se realiza con las resistencias de 1000Ω , 2000Ω , 2200Ω , 3300Ω , 4700Ω , 5100Ω , 5600Ω , calculando el rango promedio de cada una y obteniendo la Tabla 2. Tras observar los promedios, se eligió una resistencia fija de 2000Ω , ya que es la que mayor rango ofrece y la que cuantifica la presión ejercida en los sensores con más precisión.

Tabla 1

Análisis del rango que ofrece la resistencia de 2000Ω con 4 sensores diferentes

| Rfija = 2000Ω | Sensor 1 (área completa) (V) | Sensor 2 (área completa)(V) | Sensor 3 (área completa)(V) | Sensor 4 (área completa)(V) | ΔV Promedio (V) |
|--|---|--|--|--|---|
| Vmax | 3,13 | 2,55 | 2,9 | 2,6 | |
| Vmin | 0,36 | 0,11 | 0,13 | 0,09 | 2,62 |
| ΔV | 2,77 | 2,44 | 2,77 | 2,51 | |

Nota: Elaboración propia

Tabla 2

Rango de voltaje promedio para cada resistencia

| Resistencia fija (Ω) | ΔV (v) |
|---|--------------------------------------|
| 1000 | 2,50 |
| 2000 | 2,62 |
| 2200 | 2,27 |
| 3300 | 2,12 |
| 4700 | 2,29 |
| 5100 | 2,04 |
| 5600 | 1,92 |

Nota: Elaboración propia.

4.2. Pruebas con los sensores en la silla y su fijación

Esta fase era fundamental para establecer el umbral a partir del cual se considera que alguien está presionando completamente en un sensor. Si se considera que a partir de 1V (escala 0-3,3V) los alumnos están presionando un sensor, puede que las personas de menor peso no lleguen a ejercer la presión suficiente para llegar al valor de 1V. Tras realizar pruebas, se decidió que el umbral de los sensores del asiento iba a ser de 1,65V y el de la espalda de 1,95V. La distribución de los sensores en el asiento y respaldo tenía que ser centrada para cubrir las diferentes estaturas y dimensiones antropométricas de los alumnos, y para conseguir clasificar todo tipo de posturas. En la parte del asiento se ha optado por colocar 4 sensores de manera distribuida como se

observa en la Figura 10, los necesarios para cubrir todas las posturas posibles en la superficie en la que se sientan los alumnos. Mientras que, en el respaldo, se ha considerado que un sensor en la parte central sería suficiente para detectar cuando el alumno está reclinado o no (Figura 10). La superficie del respaldo de la silla no es grande, por lo que no se pueden poner más sensores y distinguir la forma en la que está reclinado el alumno. El prototipo estará programado de manera que las posturas correctas sean aquellas en las que los alumnos estén presionando todos los sensores, es decir, cuando los alumnos están cubriendo toda la superficie del asiento y están reclinados. Las condiciones del programa instalado en el microcontrolador hacen que cuando alguno de los sensores no está siendo presionado el reloj notifique al alumno sobre su postura incorrecta (menos en el respaldo, que se añade un margen de tiempo). En la Tabla 3 se clasifican las posturas detectadas.

4.3. Preparación de los componentes físicos del sistema y el programa del dispositivo

Se decide evitar el uso de una *protoboard* ya que supone muchos cables y un mayor riesgo de desenchajarse, adoptando mejor un circuito integrado a la placa del microcontrolador mediante soldadura, reduciendo la cantidad de cables y fijando las resistencias al microcontrolador ESP32. Este se ubica en la parte inferior de la silla mediante un velcro que permite sacarlo y volver a introducirlo. Se mantienen los cables que van de los sensores al microcontrolador para la salida de energía y la lectura de la presión ejercida, pero se han protegido usando soldadura y protectores. El programa se encarga de dirigir las órdenes al microcontrolador para que distinga las posturas correctas e incorrectas.

Estas instrucciones van integradas tanto en el ESP32 como en el reloj que recibe las notificaciones, y cada dispositivo tiene su propio programa ([Programa para implementar el Bluetooth](#), [Programa ESP 32 Reloj Silla](#), [Programa Reloj Programable](#)). Primero se realizó la conversión. El microcontrolador transforma las señales analógicas procedentes de los sensores de presión en valores digitales comprendidos entre 0 y 4095, por lo que se convierte el valor del voltaje digital en analógico para poder trabajar con valores físicos reales y establecer las condiciones con mayor facilidad. Posteriormente, se establecen las condiciones que permiten identificar las posturas incorrectas mediante los comandos *if-else*, empleando los umbrales obtenidos. Esta condición en los sensores del asiento hace que se transmita una notificación al reloj



cuando uno de los sensores registra un voltaje inferior a 1,65V. Sin embargo, para garantizar que el dispositivo detecte posturas cuando no se sienta nadie, se impone que no todos los sensores estén por debajo de 1,65V. Hay dos programas adicionales, uno que conecta el reloj con el microcontrolador mediante Bluetooth y que dicta la intensidad y el funcionamiento de su vibración, y otro que establece los pines de salida y lectura.



Figura 10.- Sensores en el asiento, respaldo, y vista general. Nota: Elaboración propia.

4.4. Resultados del formulario y su análisis

4.4.1. Análisis de la muestra

El número final de encuestados fue de 43 alumnos. Se trató de establecer un equilibrio entre los diferentes cursos y géneros, pero finalmente, el porcentaje de alumnos de género masculino fue de 51,16% y el porcentaje de alumnos de género femenino fue de 48,84%.

4.4.2. Análisis de resultados generales

Corrección postural: La gran mayoría de los alumnos creen que la silla les ayudó a mejorar su postura, en concreto el 97,6%, tan solo un alumno tuvo la opinión contraria. Esto es una buena señal ya que da a conocer que el prototipo distinguía correctamente las posturas incorrectas y transmitía las notificaciones, generando así un impacto positivo en la postura de los alumnos. En la segunda variable se pregunta a los alumnos si se dieron cuenta de que estaban en una mala postura antes de recibir la notificación. Con la implementación de la silla durante un periodo largo de tiempo, esta pregunta permitiría conocer si los alumnos son conscientes de su postura, pero al estar realizando unas pruebas durante tan solo 25 minutos los alumnos eran conscientes de que su postura y las notificaciones. Esto contribuyó a que el 62,8% de los alumnos se dieran cuenta de su postura incorrecta antes de recibir la notificación, mientras que el 37,2% de los alumnos no se dio cuenta.



Distracción: Se ha de mencionar que el hecho de que los alumnos sean conscientes de que están realizando unas pruebas puede hacer que estén más pendientes a las notificaciones del reloj. El uso cotidiano de este prototipo permitiría conocer con más precisión si los alumnos suelen distraerse. Pero durante el tiempo que han utilizado la silla, el 74,4% de los alumnos (32) creen que la silla no interrumpió su concentración durante la clase.

Uso diario: El 77,4% de los alumnos piensan que la silla es adecuada para el uso diario. Este prototipo podría ser utilizado por diferentes periodos de tiempo y con diferentes propósitos. Por ejemplo, podría ser utilizado por los alumnos que tienen mala postura por un periodo de 30 días para interiorizar y acostumbrarse a ser conscientes de su postura. Además, podría ser acompañado por ejercicios de fortalecimiento de espalda. Por otro lado, los alumnos piensan que las notificaciones podrían ser desactivadas durante ciertos momentos (exámenes, exposiciones...), ya que el 65,1% ha votado a favor de esto. Es normal que durante situaciones como un examen los alumnos estén nerviosos y no quieran estar pendientes a su corrección postural, y más sabiendo que esto podría distraerlos.

Uso de otros alumnos y continuidad: Finalmente, a 32 de los alumnos (74,4%) les gustaría seguir utilizando la silla para la corrección postural, y el 97,7% recomienda esta tecnología a otros alumnos.

4.4.3. Análisis de resultados: relación entre variables

Se ha analizado la correlación entre variables como la influencia de la edad, el género, el curso, la altura, el peso y posibles diagnósticos médicos de los alumnos sobre la opinión del alumnado. Se utilizó el test Kruskal-Wallis para la significación y la mediana como estadístico de tendencia central más robusto.

La relación de las respuestas con los factores sociodemográficos no ha permitido sacar muchas conclusiones. En el análisis de la edad, los rangos de 18 y 15 años obtuvieron la máxima valoración en algunos aspectos, pero estas diferencias fueron demasiado pequeñas y aleatorias para ser estadísticamente importantes. El género ha permitido observar que las mujeres mostraron una mayor intención de seguir usando la silla. Sin embargo, en los proyectos analizados se menciona que el género no tiene relevancia en la higiene postural, por lo que no se ha considerado relevante.

El análisis de los resultados en función del curso ha indicado que los alumnos de 2º, 3º y 4º de la ESO consideran que la silla no es adecuada para su rutina diaria, lo que demuestra que este grupo requiere una solución específica para integrar la silla en su

día a día. El impacto ha sido significativo debido a que el valor obtenido ha sido de $p=0,15$. También se ha observado que los alumnos de cursos superiores son más afectados por las notificaciones y tienden a perder el hilo de la clase. Esto puede ser debido a que la mayor dificultad de las clases en los cursos superiores requiere más concentración por parte de los alumnos, y una vibración durante una de estas clases puede hacer que el alumnado se distraiga.

Las variables de altura y peso fueron de interés en la selección de las preguntas del formulario para analizar la efectividad de la silla corrigiendo la postura. De forma que si se observaba que un grupo de una altura o un peso determinado creía que la silla no le ayudó a corregir la postura esto podría indicar una selección incorrecta de la posición de los sensores (en relación con la altura) o una selección incorrecta de los umbrales de presión (en relación con el peso y la presión ejercida en los sensores). Pero la práctica totalidad de los alumnos creen que la silla les ayudó a corregir su postura, lo que indica que el sistema era efectivo corrigiendo la postura de los alumnos de diferentes pesos y alturas. Se ha decidido incluir tendencias que relacionan otras variables con la altura o el peso.

En cuanto a la altura, no se encontraron diferencias significativas. Se observa una ligera tendencia que indica que los alumnos más altos son los menos propensos a darse cuenta de su mala postura antes de la notificación del reloj, por lo que la notificación es más útil entre los alumnos más altos. También una tendencia que indica que el alumno promedio de estatura (150-160 cm) es menos distraído por las notificaciones.

Por otro lado, no se encuentran diferencias significativas relativas al peso, ya que todos los valores de la significación asintótica están muy por encima de 0,05. La variable de la distracción tiene una mediana de "No" en todos los intervalos de peso. Esto es positivo ya que significa que la notificación no desconcentra a la mayoría de los alumnos independientemente de su peso.

Por último, los diagnósticos médicos tampoco influyen significativamente. Se observa que el alumno sin diagnóstico sí que fue más distraído, mientras que los alumnos con diagnósticos no sintieron que perdieron el hilo de la clase por la notificación. Esto es opuesto a la tendencia por curso y sugiere que los alumnos con condiciones que requieren más concentración (migrañas, TDAH...) o corrección visual (gafas) podrían tener una mejor capacidad para ignorar o procesar la alerta de manera que no interrumpa su trabajo.

4.5. Análisis ergonómico

4.5.1. Principios de ergonomía en sillas

Del análisis del estado de la cuestión, se han señalado los principios que son la base de las propuestas de mejora en la silla del IES Plaza de la Cruz.

La altura debe permitir apoyar ambos pies completamente en el suelo, con los muslos paralelos al suelo y las rodillas flexionadas 90°. Rodillas aproximadamente a la altura de las caderas. Esta estructura favorece la circulación sanguínea en las piernas y permite una distribución correcta del peso, además de evitar presión excesiva en muslos o glúteos. El respaldo debe proporcionar soporte lumbar y permite mantener la curvatura natural de la columna, con altura suficiente para cubrir la zona lumbar y los omoplatos y anchura suficiente para cubrir toda la espalda. La inclinación puede variar entre 90° y 115°. Esta estructura reduce la fatiga muscular y el dolor de espalda, permitiendo que los hombros se mantengan relajados y evitando estrés sobre los discos intervertebrales. La base del asiento ha de tener una profundidad suficiente para no presionar la zona poplíteica (parte posterior de las rodillas), con superficie acolchada, borde frontal redondeado y anchura suficiente para acomodar diferentes tamaños de cadera. Esta estructura mejora la circulación en las piernas y favorece una postura estable del tronco y relajada del tronco. Tampoco se considera necesario un reposacabezas si el respaldo permite que la cabeza esté alineada con el torso, nivelada y orientada hacia delante. Este es un complemento opcional que previene sobrecargas en el cuello. Deberían estar dotados de reposabrazos que permitan mantener los codos cerca del cuerpo con un ángulo del codo entre 90° y 120°, los antebrazos paralelos al suelo y anchura adecuada y preferiblemente ajustable. Esto permite reducir la carga sobre hombros y cuello previniendo tensiones musculares. La ajustabilidad debe ser simple e intuitiva en la altura del asiento, en el respaldo y en la profundidad del asiento. Los ajustes permiten que usuarios con distintas complejiones adopten una postura correcta. Otra opción dada la complejidad de aplicar ajustes en una silla académica es la creación de sillas de diferentes tamaños, con un patrón de colores o pegatinas que permitan identificarlas, de forma que cada alumno elige la talla de silla que más se adapte a sus necesidades. La ajustabilidad individual es muy positiva, pero ofrecer diferentes tamaños de silla permite una adaptación económica a la diversidad de estaturas.

En resumen, la consideración de todos estos principios daría lugar a una silla compleja más apropiada para un entorno de oficina. Se sugiere considerar que el mobiliario en las aulas debe ser simple y económico, pero esto no significa que no se puedan mejorar factores ergonómicos esenciales como el apoyo lumbar.

4.5.2. Análisis de la silla del IES Plaza de la Cruz

La silla del IES Plaza de la Cruz es funcional y económica, pero no cumple con algunos de los principios ergonómicos. Alguno de sus aspectos positivos es la estructura metálica estable o el asiento con un borde frontal ligeramente curvado para reducir la presión poplíteas, así como la poca inclinación del respaldo.

La altura del asiento es fija. Esto hace que los alumnos con menor distancia poplíteas queden con los pies no apoyados y por lo tanto con la flexión en las rodillas menor de 90°, y que los alumnos con mayor distancia poplíteas superen la flexión de 90°, aumentando la presión en la parte posterior del muslo. Esto puede solucionarse mediante un ajuste de altura o mediante la implementación de diferentes tallas en las sillas de aula.

El respaldo es poco favorable para el uso prolongado debido a que limita el contacto lumbar a una región reducida de la espalda aumentando la carga muscular, es decir, su altura es insuficiente para ofrecer un soporte lumbar completo y evitar la tensión y el trabajo constante de los músculos de la espalda. Además, la inclinación del respaldo es fija lo que provoca menos variabilidad postural y aumenta las fatigas en las sesiones largas.

La curvatura horizontal del respaldo observada en la Figura 18 puede limitar a los alumnos con espalda más ancha, provocando que los hombros y los omóplatos queden parcialmente fuera del respaldo y forzando al alumno a inclinarse. Esto se puede solucionar sustituyendo el respaldo parcial por otro completo con forma curvada en la región lumbar, de forma que la espalda de los alumnos pueda cumplir con su lordosis natural. Muchos diseños ergonómicos utilizan un respaldo que flexa cuando el alumno se inclina más o menos. Este material puede ser un plástico flexible y puede aportar una inclinación variada a lo largo de las clases y favorecer la movilidad postural. Otra opción para valorar es un material acolchado en vez de flexible, pero este material se deforma con el tiempo y encarece las modificaciones. Se considera que el material flexible es más flexible, barato y duradero.

El asiento, tiene una profundidad y su superficie rígida aumenta la presión y disminuye la comodidad en sesiones largas. La profundidad fija obliga a algunos






alumnos a adelantarse, perdiendo contacto con el respaldo y aumentando la carga muscular en la espalda. Sin embargo, el borde frontal redondeado es algo positivo en este asiento y ayuda a reducir la tensión y a favorecer la circulación sanguínea.

Finalmente, incluir el reposabrazos o reposacabezas encarece el coste del mobiliario y complica la fabricación sin ofrecer grandes beneficios a la higiene postural del alumnado. Su ausencia no impide mantener una buena postura si el resto de la silla está bien diseñado. Son componentes opcionales pero innecesarios.

Tabla 3

Posturas detectadas por la silla inteligente

| Posturas detectadas como incorrectas | Imágenes |
|---|---|
| <p>Una pierna sobre otra, dejando uno de los sensores del asiento sin presionar.</p> <p>Incorrecta debido a la asimetría de la postura y el efecto en la circulación sanguínea.</p> |  |
| <p>Sentado en la parte delantera del asiento, sin apoyarse en el respaldo y dejando los dos sensores posteriores sin presionar.</p> <p>Incorrecta debido a la falta de apoyo lumbar y a la sobrecarga de los músculos.</p> |  |
| <p>Dejándose caer en la silla, sin presionar ninguno de los sensores posteriores del asiento pero presionando el sensor en el respaldo.</p> <p>Incorrecta debido a la falta de apoyo lumbar, tensión en cuello y hombros...</p> |  |



Presionando todos los sensores del asiento pero sin presionar el del respaldo. Esta postura está permitida durante 30 segundos, una vez superado el tiempo se notificará al usuario.

Incorrecta debido a la sobrecarga cervical, cifosis acentuada...



Figura 14

Postura detectada como correcta

Todos los sensores están siendo presionados.

Considerada como correcta debido al apoyo lumbar y al cumplimiento de los 90° en las articulaciones.

Imagen



Figura 15

Nota: elaboración propia.

5. Conclusión

Del estudio y diseño de silla inteligente para la mejora del control postural se ha demostrado que, tras la implementación de los sensores en la silla, la postura de los alumnos se ha visto mejorada y éstos recomiendan la tecnología a sus compañeros. Se ha concluido en que el método de notificación escogido ha tenido una percepción general positiva, pero se debe mejorar con las modificaciones introducidas anteriormente (modo examen, intensidad de la notificación...) debido a la distracción generada por el reloj en los cursos superiores y a la inadecuación percibida por algunos alumnos.

Del análisis ergonómico de la silla del IES Plaza de la Cruz se ha llegado a la conclusión de qué necesita una serie de mejoras. Los cambios que resultan favorables para la mejora de la ergonomía en las sillas de instituto serían, el incorporar un respaldo completo de material flexible que permita reducir la carga muscular ofreciendo apoyo lumbar y ayudando a la movilidad postural, estudiar la incorporación de ajustes o de sillas de diferentes tallas que permitan la adaptación a las diferentes complejiones, eliminar la curvatura horizontal del respaldo que limita a los alumnos de espalda más ancha

y afrontar la rigidez del asiento con otro material que disminuya la presión y aumente la comodidad en sesiones largas.

Por último, tal como se observa en la Tabla 7, se ha realizado la comparación de los objetivos e hipótesis planteados al inicio con los resultados obtenidos.

Tabla 7.-Análisis del cumplimiento de los objetivos e hipótesis

| Objetivo e Hipótesis | Resultado |
|----------------------|--|
| O1 y O1.1 H1 | Se ha conseguido diseñar y aplicar en las aulas el sistema de seguimiento postural ayudando a corregir la postura del 97,7% de los alumnos. El material ha sido económico en comparación con un sistema diseñado con sensores de presión comerciales |
| O2 H2 | El 74,4% de los alumnos no fueron distraídos por las vibraciones del reloj. Sin embargo, se debe modificar la intensidad y el periodo de vibración para mejorar la notificación. Además, se puede integrar una mayor personalización de las notificaciones. |
| O3 H3 | No se ha logrado realizar un modelo 3D, pero durante el análisis ergonómico se ha confirmado que la hipótesis parcialmente era cierta. Faltaron algunas propuestas por añadir como la curvatura horizontal o el material del respaldo y la rigidez del asiento |

Nota: Elaboración propia

6. Referencias

- Cabrera Zeas, J. D., y Pugo Méndez, E. X. (2018). *Diseño y construcción de un sistema inteligente para la detección de malas posturas sobre la columna vertebral al sentarse*. Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16205>
- Chiang, H.Y., Jacobs, K., y Orsmond, G. (2006). *Gender-age environmental associates of middle school students low back pain*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16373976/>
- Faith Odesola, D., Kulon, J., Verghese, S., Partlow, A., & Gibson, C. (2024). *Smart Sensing Chairs for Sitting Posture Detection, Classification, and Monitoring: A Comprehensive Review*. <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/9/2940>
- Fayyaz, A., Shoukat, F., & Amir Gilani, S. (2018). *Contribution of Bad Posture towards Development of 'Adolescent Scoliosis' among University Students*. <https://ifjmu.com/index.php/ojs/article/view/54>
- Krauter, C., Angerbauer, K., Sousa Calespo, A., Achberger, A., Mayer, S., & Sedlmair, M. (2024). *Sitting Posture Recognition and Feedback: A Literature Review*. <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3613904.3642657>



- microlog. (n.d.). *Lámina Velostat*. microlog. <https://microlog.es/sensores-modulos-y-shields/3616-lamina-velostat-45x45cm.html?srsId=AfmBOoqx4clAjZiwRJzsZZtZwXuX4qE3QJ74TwI7vnWZ9vIYrXTn9PJ>
- NIOSH. (2024). *Ergonomics and Musculoskeletal Disorders*. <https://www.cdc.gov/niosh/ergonomics/ergo-programs/risk-factors.html>
- Openshaw, S., Taylor, E., & Allsteel. (2006). *Ergonomics and Design A Reference Guide*. Gaylin Minder. <https://ehs.oregonstate.edu/sites/ehs.oregonstate.edu/files/pdf/ergo/ergonomicsanddesignreferenceguidewhitepaper.pdf>
- OSHA. (2023). *Ergonomía para la prevención de trastornos musculoesqueléticos*. <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/OSHA4383.pdf>
- Pérez, I. J., Delgado, M., & Rivera, E. (2011). *Efectos de un juego de rol sobre los procedimientos de práctica de actividad física relacionada con la salud secundaria*. <https://goo.gl/7qgi9c>
- Pérez Otero, E., Montalván Betancourt, B., & Ruíz Pedrosa, M. (2019). *Una postura correcta garantiza elevados niveles de salud*. <https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/1486/2160>
- Reguera Rodríguez, R., Socorro Santa, M. d. I. C., Jordán Padrón, M., García Peñate, G., & Saavedra Jordán, L. M. (2018). *Dolor de espalda y malas posturas, ¿un problema para la salud?* Scielo. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1684-18242018000300026&script=sci_arttext
- Urbina, E., Sainz de Baranda, M.P.D., & Rodríguez y Ferrán, O. (2010). *Instrumento de evaluación sobre higiene postural: opinión del profesor*. <https://www.redalyc.org/pdf/542/54222122009.pdf>