UNIVERSIDAD METROPOLITANA DE CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
FACULTAD DE ARTES Y EDUCACIÓN FÍSICA
DEPARTAMENTO DE KINESIOLOGÍA

"**CONTROL POSTURAL Y SU RELACIÓN CON LA FATIGA MENTAL**"

ACTIVIDAD DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER(A) EN CIENCIAS APLICADAS AL MOVIMIENTO Y LA COGNICIÓN HUMANA

AUTOR: ISIDORA MACCARENA BOTTO IZURIETA
TUTOR: JOEL ALVAREZ RUF



FIRMA TUTOR O DIRECTOR

SANTIAGO DE CHILE, 23 DE ABRIL DEL 2025

Tabla de contenidos

1. Introducción
   1.1. Problema u oportunidad……4
   1.2. Análisis del estado del arte…….....6
   1.3. Solución……7

2. Propuesta
   2.1. Hipótesis y componente de investigación……9
   2.2. Objetivos……..…..……... 9
   2.3. Metodología de investigación…..……. 9
      2.3.1. Diseño del estudio……. 9
      2.3.2. Tamaño de la muestra y reclutamiento de participantes……...10
      2.3.3. Instrumentos de medición……... 10
      2.3.4. Protocolo experimental ...…….11
      2.3.5. Análisis de datos……..……. 15
      2.3.6. Análisis estadístico ……. 16

3. Resultados
   1.1. Efectos de la tarea cognitiva sobre la fatiga mental……18
   1.2. Desempeño cognitivo y fatiga mental……..…….…. 20
   1.3. Impacto de la fatiga mental sobre el control postural…….22

4. Discusión ……...…26

5. Perspectiva del componente de innovación y transferencia
   5.1. Propuesta de modelo de negocios ….…….29
   5.2. Capacidades, equipo, colaboradores y alianzas. ..……..30
   5.3. Impacto Potencial Económico y Social esperados…….....31

6. Referencias……32

7. Material suplementario…...…….. 36

Resumen

Introducción: La fatiga mental (FM) corresponde a la sensación de cansancio que las personas pueden experimentar posterior o durante períodos prolongados de actividad cognitiva, que generalmente implican un detrimento en el rendimiento de la tarea que se está realizando. En condición de FM disminuyen los recursos de alerta y atención provocando efectos negativos en la vida social, laboral y/o académica de las personas, siendo relevante su detección para evitar estos estados. La mantención del control postural durante la postura erguida requiere una determinada cantidad de recursos atencionales, los cuales dependen de la complejidad de la tarea postural, pudiendo verse afectada por la FM, siendo una alternativa a explorar para la detección de este estado. El objetivo de este proyecto fue evaluar el impacto de la FM sobre el comportamiento postural, reflejado por el centro de presión (COP), en adultos jóvenes universitarios.

Propuesta: En este proyecto se busca identificar si las variables relacionadas al comportamiento postural bípedo presentan cambios ante condiciones de FM generada por tareas cognitivas prolongadas en población joven, pudiendo aportar evidencia útil en la detección y prevención de las consecuencias negativas de la FM en ámbitos académicos y/o laborales. El COP se puede evaluar utilizando herramientas de bajo costo, transportables y en un tiempo reducido, pudiendo ser una alternativa práctica para la detección de FM.

Metodología: Se realizó un estudio cuasi-experimental, analítico y de medidas repetidas. Se evaluó a 16 jóvenes universitarios que realizaron una tarea cognitiva atencional durante cuatro bloques de 30 minutos, con el objetivo de inducir un estado de FM. Se realizó la medición del COP de manera basal y posterior a cada bloque de tarea cognitiva, utilizando la plataforma *Wii Balance*. Además, utilizando una escala de autopercepción de FM se midió la sensación de fatiga previo a la medición postural.

Resultados: La tarea cognitiva logró inducir FM en los participantes mostrando un aumento significativo en la percepción de FM entre la medición basal y final (p = 1.6e-05). Además, los tiempos de respuesta a lo largo de los bloques de tarea cognitiva disminuyeron significativamente (p = .0015). Finalmente, los análisis de correlación entre las variables del control postural y la FM mostraron una tendencia ascendente significativa para las variables DOT (p = .012) y RMS anteroposterior (p = .0062) en condición de ojos abiertos y superficie estable.

1. Introducción

1.1. Problema u oportunidad

El desempeño de una persona en cualquier tipo de actividad que se realice se ve influenciado por múltiples variables, ya sea de origen cognitivo, sensoriomotor, físicas, entre otras. El nivel de desempeño en una tarea en particular, no siempre se mantiene igual o en un nivel óptimo durante toda una jornada laboral (Boksem M. et al., 2006), una causa posible de este comportamiento puede ser el efecto de la fatiga mental (FM).

La FM hace referencia a la sensación que las personas pueden experimentar posterior o durante períodos prolongados de actividad cognitiva, que generalmente implican sensación de cansancio, falta de energía, aversión a continuar las actividades o incluso una disminución en el rendimiento de la tarea que se está realizando (Boksem M. & Tops, 2008). Lo anterior, se genera por consecuencia de una disminución de recursos fisiológicos de alerta y de atención (Kaur, S. et al 1999), pudiendo generar un impacto negativo sobre la vida social y laboral de las personas.

En la actualidad, las actividades laborales han cambiado sus requerimientos, generando que las personas se enfrenten a jornadas destacadas por altas necesidades de esfuerzo mental (Boksem M. et al., 2006), pudiendo verse frecuentemente expuestos a FM ocasionada por diversos factores, los cuales pueden ser propios del individuo o incluso del entorno (Kaur, S. et al 1999). Dentro de estos últimos destacan la exposición a largas jornadas de trabajo, falta de descanso entre jornadas y disminución en las horas de sueño (Agurto N. 2019). La detección de la FM podría permitir gestionar estas actividades, en búsqueda de un mejor rendimiento.

Un estudio reciente midió la carga mental de trabajo en personas funcionarias administrativas de una municipalidad de Chile, en la cual se observó que las personas trabajadoras entre 21 y 30 años perciben una alta carga mental de trabajo global, destacada por altas demandas cognitivas (Rojas, F. et al. 2022). Es relevante considerar estos antecedentes, debido a que cuando una persona manifiesta FM suelen desarrollarse movimientos lentos o torpes, disminución de la velocidad de reacción motora, visión borrosa o doble, dificultad para concentrarse en la tarea o incluso para permanecer alerta (Agurto N. 2019). Pudiendo generar errores que lleven a consecuencias como disminución en la productividad, mayores gastos económicos o incluso accidentes.

Otra encuesta realizada en población estadounidense afirmó que el 37.9% de los trabajadores manifiestan fatiga, de los cuales el 65.7% informó pérdida de tiempo de productividad debido a factores de salud donde destacó la fatiga (Ricci et al., 2007). Estos datos son relevantes, dado que se ha visto que los trabajadores con fatiga cuestan a los empleadores 136.400 millones de dólares al año por pérdida de tiempo de productividad (Ricci J. et al., 2007), los cuales pueden ir en aumento debido a las condiciones laborales actuales y las altas exigencias.

A nivel mundial, el impacto de la FM se ve reflejado en accidentes que involucran diversos ámbitos laborales. Alrededor de un 20% de los accidentes de tráfico están directamente

relacionados a estados de FM (Zhang et al., 2016). Por otro lado, en la actividad aeronáutica si bien se generan un número muy pequeño de accidentes con resultados mortales, se estima que al menos un 66% de estos siniestros son producto de errores del piloto y su tripulación (Dismukes, 2017). Estos antecedentes indican que la FM se vuelve un problema relevante en diversas dimensiones del ámbito laboral.

La FM también puede generar un impacto sobre la salud de las personas. Un estudio realizado en Chile durante el año 2022 observó que los trabajadores que se exponen a una alta carga cognitiva manifiestan agotamiento y dificultad para relajarse posterior a sus jornadas laborales (Rojas, F. et al. 2022). Lo anterior, puede impactar negativamente la salud física y mental.

Si bien se han estudiado ampliamente los efectos de la FM en trabajadores, el ámbito académico ha sido menos explorado. En estudiantes, la FM también puede generar un efecto negativo. Se ha observado que la fatiga en alumnos de primaria y secundaria tiene un impacto motor y cognitivo. El procesamiento motor se tiende a enaltecer bajo condiciones de FM, mientras que la memoria de trabajo y la atención dividida suele disminuir (Mizuno, K. 2011). Esto genera consecuencias sobre el desempeño de los estudiantes, debido a que la FM también se asocia con peores calificaciones impactando en el rendimiento académico (Smith A.P. 2018).

La FM en estudiantes se ha asociado con un menor rendimiento académico; sin embargo, se ha observado que suelen no ser conscientes del impacto negativo que esta tiene en su desempeño (Smith, AP, 2018). Como consecuencia, no se implementan medidas de detección ni estrategias de prevención. Este contexto resulta particularmente relevante, dado que la población universitaria está altamente expuesta a desarrollar fatiga debido a las elevadas exigencias académicas, la adicción a internet y el estilo de vida característico de esta etapa (Bachleda, C. y Darhiri, L., 2018).

Existen diversas variables que afectan el desempeño de las personas durante la ejecución de tareas cognitivas, a las cuales la población jóven se encuentra expuesta de manera frecuente. Un estudio realizado en pilotos mostró que el alcohol y el tabaco presentan efectos significativos en el rendimiento general durante el vuelo, evidenciando que aquellos que consumieron alcohol presentaron un peor desempeño hasta 8 horas después. Lo anterior, debido a su efecto sobre el sistema colinérgico que generan las sustancias psicoactivas, generando consecuencias en las capacidades cognitivas (Mumenthaler, M et al. 2003), pudiendo afectar el rendimiento durante una tarea. La cafeína por su parte puede reducir la FM autoevaluada y mejorar el estado de alerta (Haskell, C.F. et al., 2005).

La gran mayoría de los estudios que investigan los efectos agudos de la marihuana han informado un deterioro del rendimiento cognitivo después de la exposición al cannabis, siendo la memoria de trabajo uno de los dominios cognitivos más afectado por la intoxicación aguda inducida por esta (Zhornitsky, S et al., 2021). Pudiendo afectar el desempeño durante la ejecución de una tarea cognitiva.

Se considera actualmente a la FM un problema que genera consecuencias que involucran tanto a la persona, impactando sobre su salud y rendimiento. Como también, aspectos económicos dados por una menor productividad o incluso accidentes relacionados a

condición de FM. Por lo que su detección oportuna se vuelve relevante en el abordaje de una posible solución.

1.2. Análisis del estado del arte

Actualmente se reconocen dos marcadores clásicos para la fatiga: el autoinforme y la disminución del rendimiento con el tiempo en la tarea (Pessiglione, M., et al. 2025). Se han creado diversas escalas que buscan medir la autopercepción de FM en las personas. De acuerdo con un estudio realizado en 2019 las escalas visuales análogas corresponden al método más práctico para evaluar la FM (Smith, M. et al, 2019). Sin embargo, estas tienen la desventaja de ser subjetivas (Dittner A. J. et al. 2004), y por ende podrían no reflejar totalmente los efectos de la FM. Además, algunas personas pueden ocultar su fatiga con la finalidad de no mostrar debilidad (Pessiglione, M., et al. 2025).

Es relevante considerar que la sensación de fatiga reportada puede estar contaminada por otros fenómenos psicológicos relacionados con el rendimiento, tales como frustración, desmotivación y pérdida de confianza (Pessiglione, M., et al. 2025). Por lo que nace la necesidad de buscar otras alternativas que permitan cuantificar y detectar estos estados.

Actualmente, existe evidencia que respalda el uso de marcadores fisiológicos para la detección oportuna de FM, buscando mediciones objetivas y reproducibles, con el fin de reducir los riesgos asociados a la FM. Dentro de las opciones de detección de FM que se han explorado destaca el registro por medio de electroencefalograma, el cual es un potencial biomarcador para la FM (Tran, Y. 2020). Sin embargo, su uso se ve restringido por los largos periodos de registro y las dificultades técnicas de implementación, donde además se requiere de personal capacitado para su aplicación y análisis.

Otra alternativa, corresponde a la variabilidad de la frecuencia cardiaca, la cual ha mostrado cambios en función del aumento de la carga mental (Delliaux, et al., 2019). Las recomendaciones indican que el ritmo cardiaco debe ser registrado mientras realizan la actividad laboral, ya que si se evalúa durante una pausa de trabajo se genera un periodo de descanso (Gaínza, J. 2015), dado que las mediciones requieren varios minutos para ser realizadas.

Frente a situaciones que exigen demandas cognitivas se ha observado un aumento en el parpadeo de los ojos (Morales et al., 2017). Sin embargo, esto podría asociarse a fatiga relacionada a tiempos prolongados frente a una pantalla o leyendo un documento. Por su parte, se espera que la velocidad de sacadas disminuya ante situaciones de fatiga (Hirvonen et al., 2010). También se puede evaluar el diámetro pupilar, el cual aumenta de forma progresiva frente a tareas cognitivas de carga elevada (Wanyan et al., 2014). Este marcador se ve limitado por las condiciones de luminosidad del ambiente en el que son ejecutadas las evaluaciones (Wanyan et al., 2014).

Una alternativa para evaluar los efectos de la FM es por medio del desempeño en tareas cognitivas, ya que la evidencia indica que a medida que aumenta la fatiga, disminuye el esfuerzo, lo que conduce a una disminución en el rendimiento (Muller & Apps, 2019), en dónde la precisión y el tiempo de respuesta se pueden ver disminuidos (Boksem M. et al,

2005). Es relevante destacar que para llevar a cabo este tipo de evaluación se debe someter a las personas a la realización de tareas cognitivas que pueden ser fatigantes.

Lo anterior se explica porque la FM afecta directamente la cognición, presentando efectos sobre distintas áreas corticales, como la corteza prefrontal dorsolateral (Muller & Apps, 2019), involucrada en funciones ejecutivas, como la mantención de la atención y la planificación (Boksem, M., & Tops, M. 2008).

La mantención de la postura bípeda erguida involucra niveles determinados de atención para evitar una caída, estos requerimientos varían de acuerdo a la exigencia postural (Palluel, E. et al., 2010). Estos recursos atencionales se ven limitados en condiciones de FM, generando que los mecanismos reguladores del balance evolucionen hacia un modo menos automático con una mayor participación de los recursos cognitivos (Hachard, B. 2020), viéndose alteradas variables posturales tras realizar una tarea cognitiva demandante y prolongada.

Mantener la posición bípeda con estabilidad y orientación postural adecuada es fundamental para realizar diferentes actividades de manera segura y eficiente, siendo necesario un adecuado control postural. Una de las formas más comunes de evaluar el control postural es por medio del balanceo postural que se genera durante la postura bípeda, en donde es frecuente la valoración de variables relacionadas al centro de presión (COP) (Duarte, M., & Freitas, S., 2010). El COP se define como el punto de aplicación de las fuerzas de reacción del suelo bajo los pies que puede evaluarse a partir de señales obtenidas por plataformas de fuerza (Lafond, D. et al., 2004).

Existen diversas variables relacionadas al COP que permiten extraer información relacionada al balanceo postural y a los cambios que este puede sufrir al exponerse a diversas condiciones. Dentro de las medidas más utilizadas se encuentran la velocidad media, el área, la amplitud del desplazamiento, la aceleración cuadrática media (RMS), correspondiente a la desviación estándar de la trayectoria anteroposterior, y el desplazamiento total del balanceo (DOT), descrito como tamaño o longitud de la trayectoria del COP en la base de sustentación (Duarte, M., & Freitas, S., 2010). Existiendo así, diversas variables que pueden ser sensibles a cambios producto de la FM.

Con relación a lo descrito, mantener una postura erguida estable presenta requerimientos cognitivos, que pueden verse comprometidos por los efectos adversos de la FM previamente mencionados, pudiendo alterar variables posturales. Por lo tanto, resulta crucial seguir investigando la relación entre estas variables y la FM, especialmente en la población jóven, donde la información disponible es limitada.

1.3. Solución

La prevención y detección de la FM se vuelve relevante al momento de evitar las consecuencias negativas que puede llegar a producir en ámbitos laborales y académicos. De acuerdo con la evidencia, se propone que existe una asociación entre la FM y el control postural, pudiendo ser una alternativa de detección de FM, que permita minimizar los efectos y riesgos asociados a esta, generando un servicio para su detección mediante la medición y análisis del comportamiento del COP.

El control postural durante una acción motora depende de la interacción de tres elementos esenciales: la tarea, el ambiente y el individuo, en donde se consideran los factores cognitivos, perceptuales y de la acción (Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Considerando lo anterior, la FM como aspecto cognitivo del individuo puede afectar el desempeño de la tarea postural, sobre todo ante niveles de mayor dificultad o altos requerimientos atencionales, en donde se exige un mayor control postural.

La mantención del control postural durante la postura erguida requiere una determinada cantidad de recursos atencionales, los cuales dependen de la complejidad de la tarea postural (Hachard, B. 2020), pudiendo verse afectada por la FM. Un estudio realizado en 2018 mostró que la FM y física se relacionaban con un deterioro en el control postural en un grupo de pilotos cadetes (Cheng S. et al. 2018), sugiriendo la validación de variables posturográficas en la evaluación de la FM y la fatiga física.

El comportamiento del COP se puede medir utilizando herramientas de bajo costo, como lo es la Wii Balance Board (WBB) de la compañía Nintendo. La WBB es más portátil que otros equipos utilizados para realizar mediciones de laboratorio, debido a que su peso es menor a 4 kilogramos, además de ser una alternativa más económica, ya que las plataformas de fuerza comerciales son instrumentos de alto costo. Esta herramienta de medición proporciona mediciones válidas y confiables (Reed-Jones, R. et al. 2012). Además, la evaluación del COP presenta tiempos de prueba reducidos en comparación a otras variables ya mencionadas anteriormente. Siendo una alternativa accesible para la detección de FM.

En relación con lo anterior, se propone la WBB como una herramienta económica, transportable y con la capacidad de realizar mediciones rápidas para detectar posibles cambios en el control postural generados por la condición de FM. Buscando evitar las consecuencias negativas relacionadas a la fatiga mencionadas anteriormente en contextos académicos.

2. Propuesta

2.1. Hipótesis y componente de investigación

Se plantea que la sensación de FM generada por una actividad cognitiva sostenida en el tiempo provoca un aumento en el balanceo postural en estudiantes jóvenes universitarios.

2.2. Objetivos

El objetivo general consiste en describir la relación entre la FM y el comportamiento del COP en adultos jóvenes universitarios, para lo cual se plantearon los siguientes objetivos específicos:

I. Medir la sensación de fatiga mental generada por una tarea cognitiva prolongada en adultos jóvenes universitarios.

II. Medir el rendimiento en una tarea cognitiva prolongada en adultos jóvenes universitarios.

III. Analizar la relación entre la fatiga mental y el comportamiento del COP en estudiantes jóvenes universitarios.

2.3. Metodología de investigación

2.3.1. Diseño del estudio

Se realizó un estudio cuasi-experimental, analítico y prospectivo, en jóvenes universitarios entre los 18 y 35 años que residen en la ciudad de Santiago de Chile, quienes fueron sometidos a realizar una tarea cognitiva de conflicto visual durante aproximadamente 2 horas, con el propósito de inducir FM.

Los criterios de inclusión fueron:

- Tener entre 18 y 35 años.
- Ser estudiante universitario.

Mientras que los criterios de exclusión corresponden a:

- Presentar patologías neurológicas diagnosticadas.
- Presentar alteraciones del sueño diagnosticadas.
- Presentar alguna lesión músculo esquelética que afecte a la extremidad inferior o columna vertebral menor a 6 meses.
- Consumir medicamentos antidepresivos, ansiolíticos u otros afines.
- Presentar un puntaje mayor a 5 en la escala de autopercepción de FM.
- Declarar menos de 6 horas de sueño la noche anterior a la medición.

2.3.2. Tamaño de la muestra y reclutamiento de participantes

A partir de la literatura revisada, se observó que muchos estudios reportaron resultados estadísticamente significativos con tamaños del efecto cercanos a 0.8. Para el cálculo de la muestra del presente estudio, se asumió un tamaño del efecto de 0.5, con un nivel de significancia (alfa) de 0.05 y un poder estadístico de 0.8, lo que arrojó un tamaño de muestra estimado de 28 participantes. No obstante, en este informe se presentan los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas a 16 participantes.

El proceso de reclutamiento se llevó a cabo mediante la difusión de un afiche digital en redes sociales. Este incluía un código QR que dirigía a un cuestionario en línea, el cual los interesados debían completar para inscribirse. Posteriormente, los investigadores se encargaron de contactar a los inscritos que cumplieran los criterios de inclusión.

2.3.3. Instrumentos de medición

a) Escala de autopercepción de fatiga mental: Corresponde a una evaluación subjetiva que busca conocer la autopercepción de las personas con relación a su estado de FM. En esta escala se solicita que indique en una escala del 1 al 10 qué tan fatigado se sentía durante los últimos 5 minutos, siendo 1 "Extremadamente descansado mentalmente" y 10 "Extremadamente cansado mentalmente, no puedo mantenerme en mi actividad" (Anexo 1).

b) NASA Task load index (NASA TLX): Corresponde a un método subjetivo desarrollado por un equipo de investigadores del Ames Research Center (AMC) en 1988 (Hart & Staveland, 1988), y busca valorar la carga cognitiva desde una perspectiva multidimensional, otorgando un puntaje global a partir de seis subescalas, correspondientes a: Exigencia de tipo mental, exigencia de tipo física, exigencia temporal, rendimiento, esfuerzo y nivel de frustración. (Hart, S. 2006) (Anexo 2).

Este método se puede aplicar de manera gratuita por medio de la página web del Campus de Prevención del Instituto de Seguridad Laboral del Ministerio del Trabajo y Previsión Social del Gobierno de Chile.

Esta evaluación entrega dos puntajes, ya que se le solicita al participante que conteste dos ítems, en el primero se le indica que seleccione entre dos opciones correspondientes a subescalas cual se relaciona más a la exigencia de la tarea, identificando así a que subescalas atribuye mayor carga. Para posteriormente en el segundo ítem indicar en un puntaje del 1 al 20 (siendo 1 la menor exigencia y 20 la máxima) el nivel correspondiente a cada subescala en relación con la tarea realizada.

A partir de los dos ítems mencionados se obtiene un puntaje global que categoriza el nivel de carga de trabajo en bajo (500 puntos o menos), medio (sobre 500 y bajo 1000 puntos) o alto (mayor a 1000 puntos). Además, se indica el puntaje obtenido en cada subescala.

c) Wii balance board (WBB): Corresponde a una plataforma de bajo costo y liviana (menor a 4 Kg) que contiene componentes similares a los de una plataforma de fuerza típica, contiene cuatro sensores de carga basados en medidores de tensión, que permiten obtener datos relacionados a los movimientos de diversos componentes del COP. Esta plataforma se

comunica de forma inalámbrica con una computadora a través de Bluetooth, y se ha utilizado ampliamente en investigación para evaluar el equilibrio estático en posición bípeda (Clark, R. et al, 2018). Para medir y extraer los datos otorgados por WBB se utilizó el programa BrainBlox.

d) Tarea cognitiva de conflicto visual y toma de decisiones: Esta tarea fue diseñada a partir de la investigación realizada por Di Stasi L. et al en 2013, en la cual se debe reconocer situaciones de "conflicto" y "no conflicto", la cual permite extraer datos relacionados al tiempo de respuesta, tasa de aciertos, errores y respuestas omitidas, por medio de Psychopy2, permitiendo evaluar el desempeño en la tarea cognitiva.

2.3.4. Protocolo experimental

Para llevar a cabo el estudio, se reclutaron 16 jóvenes universitarios (11 mujeres y 5 hombres) de entre 18 y 35 años, los cuales fueron invitados a participar de manera voluntaria.

Al iniciar las mediciones se solicitó a los participantes que firmaran un consentimiento informado, que no realizarán actividades físicas extenuantes 48 horas antes del estudio, para evitar fatiga física o dolores músculo esqueléticos que puedan influir sobre el control postural. Además, se les solicitó que no consumieran sustancias psicoactivas 24 horas antes: alcohol, cafeína, tabaco y marihuana. Lo anterior debido a que estas sustancias podrían influir en el rendimiento el día de las mediciones.

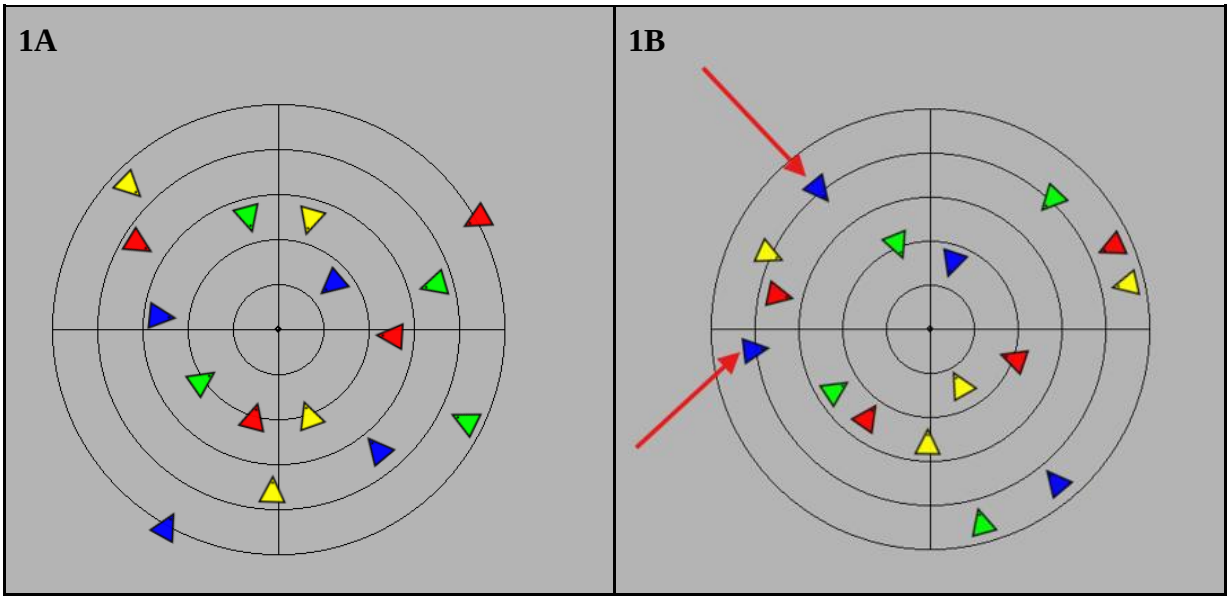
Para llevar a cabo la tarea se utilizó un espacio cerrado, que permitiera controlar aspectos como la luminosidad y el ruido, evitando distractores que interfirieran en la medición. Los participantes se posicionaron frente a un monitor en el cual se proyectaba la tarea cognitiva a ejecutar, se mantenían sentados en una silla con respaldo que permitiera una postura cómoda, indicándose que debían tomar el control (*joysctick*) con ambas manos.

Se solicitó a los participantes que realizaran una actividad cognitiva ejecutada en Psychopy2, la cual consiste en una prueba de conflicto visual y toma de decisiones (figura 1). Como se mencionó anteriormente esta tarea fue creada a partir de la investigación realizada por Di Stasi L. et al., en 2013, su elección se debe a su aproximación ecológica, ya que está inspirada en el trabajo de aeronáutica, en donde se debe observar si existen conflictos entre las figuras. Por ejemplo, si los triángulos simulan a aviones y los colores a alturas, se debe reconocer si existen dos triángulos (aviones) del mismo color (a la misma altura), para evitar una situación de riesgo.

La tarea consiste en mostrar a los participantes una serie de triángulos de colores (amarillo, rojo, verde y azul) que se encuentran en movimiento dentro de cinco círculos en una pantalla, los cuales se quedan quietos durante un tiempo determinado, en donde el participante debía identificar si existía o no conflicto visual, presionando una tecla asignada en un control. Se considera una imagen "sin conflicto visual" cuando ningún triángulo del mismo color se encuentra posicionado en la misma circunferencia (figura 1A), y una imagen "con conflicto visual" cuando dos triángulos del mismo color coinciden en el mismo círculo (figura 1B). Cabe destacar que el conflicto visual podía darse en triángulos de cualquiera de los cuatro colores, dentro de cualquiera de las circunferencias. Cada imagen se mantiene estática durante 5000 ms.

Figura 1.

Prueba de conflicto visual: Conflicto y no conflicto.

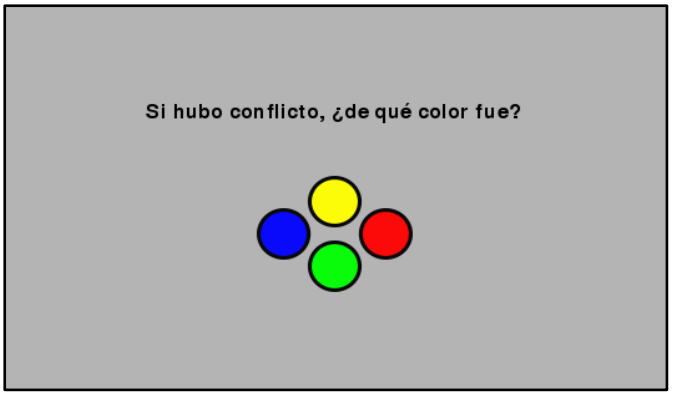


Nota: 1A. Imagen sin conflicto visual. 1B. Imagen con conflicto visual.

Cuando la persona indicaba que existía conflicto visual dentro de la imagen, se les solicitaba inmediatamente que indicaran el color correspondiente a los triángulos que se encontraban dentro de la misma circunferencia (Figura 2).

Figura 2.

Prueba de conflicto visual: Elección de color



Nota: Imagen presentada para la elección de color

Antes de comenzar, se les explicó a los participantes en qué consiste la tarea y se realizaban 10 trials de práctica. Luego se realizaban cuatro bloques de 30 minutos aproximados cada uno (250 trials cada bloque), como se muestra en la figura 3.

Entre cada bloque se realizó la evaluación del comportamiento del COP, mediante el uso de la WBB utilizando el programa *Brain blox*, que permite evaluar el balance estático de los participantes. Se les solicito a cada persona que se subiera a la plataforma, con los pies separados por una distancia de 15 cm, manteniendo los brazos cruzados a la altura de los hombros, con la vista hacia el frente y se les indicaba que "mantuviera esa postura hasta que el evaluador se lo indique", cada evaluación tuvo una duración de 45 segundos.

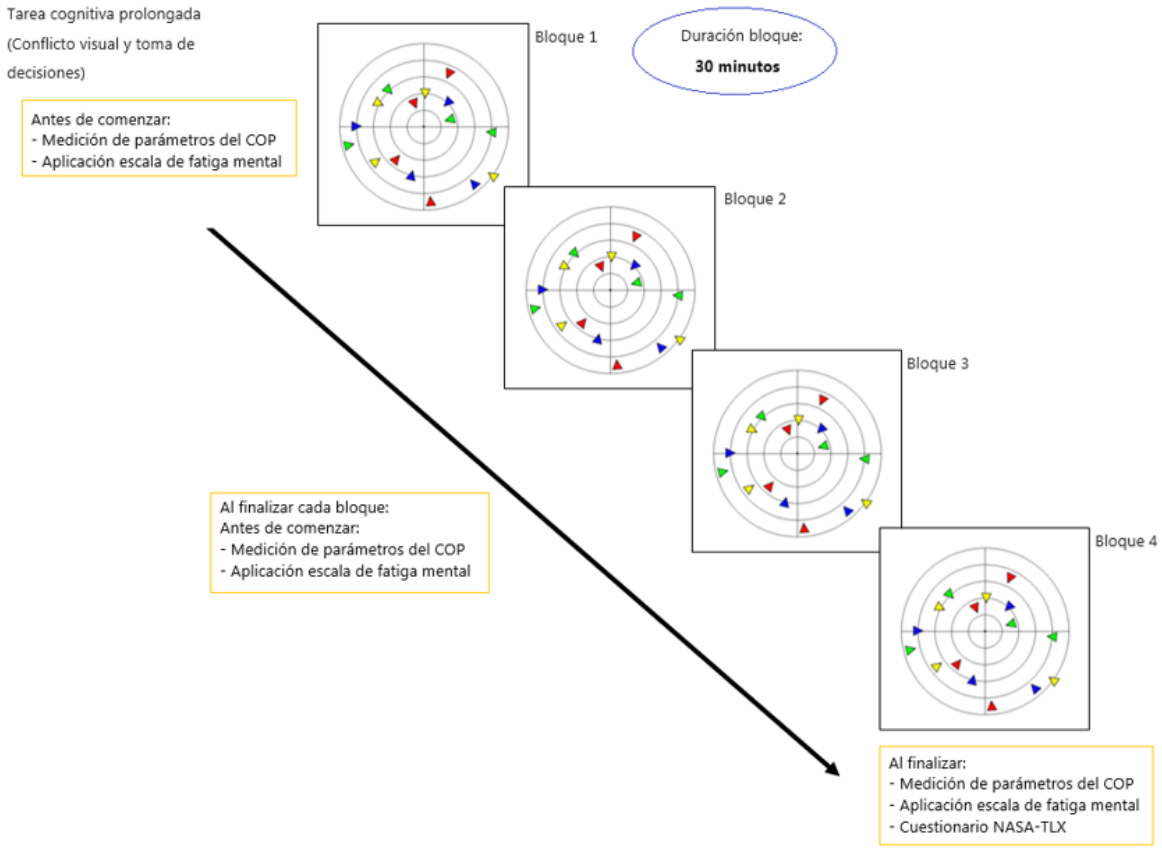
Se evaluó el comportamiento del COP en cinco oportunidades: al inicio, inmediatamente posterior al 1° bloque, inmediatamente posterior al 2° bloque, inmediatamente posterior al 3° bloque e inmediatamente posterior al 4° bloque como medición final. Cada evaluación se realizó bajo tres condiciones diferentes:

1. Ojos abiertos sobre la plataforma
2. Ojos cerrados sobre la plataforma
3. Ojos abiertos arriba de una superficie inestable sobre la plataforma

En conjunto a cada medición del comportamiento del COP, se aplicó la escala de autopercepción de fatiga mental, buscando conocer que tan fatigada se sentía la persona en ese momento. Esta escala asigna un puntaje del 1 al 10 de acuerdo con la percepción de cada participante (1 corresponde a "Extremadamente descansado mentalmente", mientras que 10 es "Extremadamente fatigado mentalmente, no puedo mantenerme en mi actividad").

Figura 3.

Esquema del protocolo experimental aplicado.



La tarea cognitiva tuvo una duración aproximada de 120 minutos en total (en cada bloque se realizaron 250 trials de tarea cognitiva). Cabe destacar que al igual que en el estudio realizado por Morales et al., en el año 2017, a los participantes no se les informó sobre la duración de cada bloque de actividad cognitiva previo a la ejecución, para evitar la reactivación del efecto final. Sin embargo, por consideración ética se les informó sobre el tiempo total que deben participar del estudio.

Posterior a la evaluación final del control postural y FM, se aplicó un cuestionario de carga subjetiva de trabajo “NASA-TLX”, para conocer la percepción de los participantes frente a la tarea realizada. Además, es relevante mencionar que a los participantes se les brindó un asiento cómodo para poder descansar posterior a las actividades, buscando una óptima recuperación antes de retirarse del establecimiento.

2.3.5. Análisis de datos

Para proteger la información de cada participante se les asignó un código, el cual fue utilizado para almacenar todos los datos obtenidos por medio de las mediciones realizadas, y así proteger sus datos personales.

Fatiga mental y carga de trabajo

Los datos entregados por el método NASA-TLX, fueron ordenados en una plantilla Excel para su posterior análisis, en donde se tabuló el puntaje final obtenido, además, de los puntajes correspondientes a cada subescala.

Tarea cognitiva

Los datos de las respuestas y de los tiempos de los cuatro bloques realizados por cada participante fueron extraídos en formato .csv desde Psychopy 2 y posteriormente fueron tabulados y ordenados de manera independiente en el programa Matlab versión 2020.

Centro de presión

Para obtener los datos de las variables relacionadas al COP, los datos fueron extraídos desde el programa BrainBlox compatible con la WBB en formato .csv, para después ser ordenados y tabulados por medio del programa Matlab versión 2020.

2.3.6. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos, en primer lugar, se verificó el tipo de distribución de los datos con el fin de seleccionar la prueba estadística pertinente. Para el caso de las variables que tuvieron distribución normal se realizó la prueba de análisis de varianza ANOVA. Para las variables que distribuyeron de manera no normal se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis.

Fatiga mental y carga de trabajo

Para llevar a cabo tanto el análisis estadístico de los efectos de la tarea cognitiva sobre la escala de fatiga mental, como para los puntajes obtenidos en NASA-TLX se utilizó el programa RStudio, por medio del cual se aplicó Kruskal-Wallis como prueba estadística no paramétrica. Para todas las pruebas estadísticas se estableció un valor de significancia menor o igual a 0,05.

Posteriormente, se realizó un post hoc con corrección de Bonferroni para comparar las puntuaciones obtenidas en las distintas subescalas de NASA-TLX.

Tarea cognitiva

Para conocer el desempeño de los participantes en la tarea cognitiva se utilizó el programa RStudio, y se determinaron como variables de rendimiento la tasa de respuestas correctas e incorrectas y el tiempo de respuesta (RT), es decir, cuánto se demoraba cada participante en responder si existía o no conflicto visual.

El análisis de desempeño basado en la tasa de respuestas se llevó a cabo utilizando una prueba estadística no paramétrica aplicando Kruskal-Wallis, realizando por separado el análisis de respuestas correctas y de respuestas incorrectas. Posteriormente se llevó a cabo un post hoc utilizando la prueba de Wilcoxon para conocer las diferencias en las tasas de aciertos entre cada bloque de tarea cognitiva.

Para el análisis del RT, en primer lugar, se aplicó una prueba estadística paramétrica (ANOVA) para saber si existieron cambios al transcurrir los bloques de tarea cognitiva. Posteriormente se aplicó el método de Tukey para calcular la diferencia entre los tiempos promedios obtenidos en cada bloque.

Centro de presión

Para conocer la relación entre las variables posturales y la fatiga mental se utilizó el programa RStudio, y se consideraron como variables del control postural el área, DOT, velocidad media anteroposterior y RMS anteroposterior. Se realizaron análisis de correlación para las tres condiciones sensoriales: ojos abiertos con superficie estable, ojos cerrados con superficie estable y ojos abiertos con superficie inestable.

Los análisis de correlación incluyeron las mediciones de la autopercepción de FM posterior al último bloque de tarea cognitiva (F4), y el cambio de cada variable del COP mencionada anteriormente: Δ= (Variable COP Final - Variable COP Inicial). Se estableció un valor de significancia menor o igual a 0.05.

3. Resultados

Participaron 15 estudiantes universitarios (11 mujeres y 5 hombres) de edad promedio 25.5 ± 3.7 años, altura promedio 169 ± 0.1 cm y masa corporal promedio de 72.8 ± 15 Kg, obteniendo un IMC promedio de 25.5 ± 5.2. Diez de los participantes mencionaron realizar actividad física moderada de manera regular. Además, relataron dormir en promedio 7.2 ± 1.3 horas diarias.

3.1. Efectos de la tarea cognitiva sobre la fatiga mental

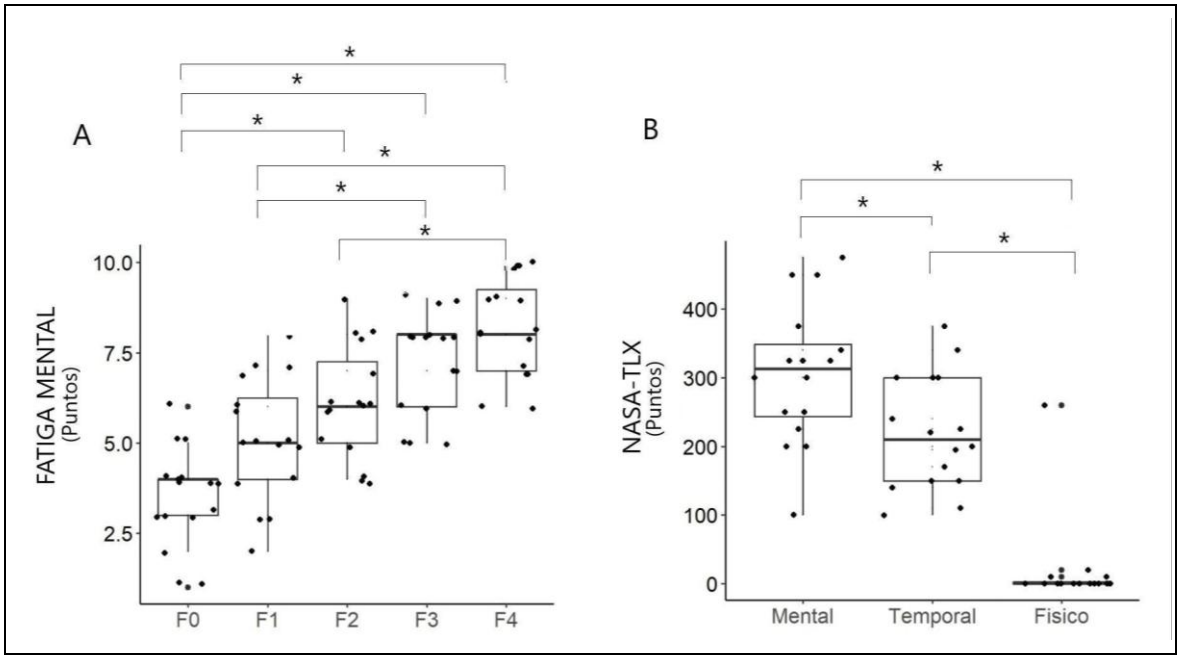
Escala de fatiga mental

Los resultados obtenidos por la prueba Kruskal-Wallis mostraron diferencias significativas para la escala de fatiga mental (Kruskal-Wallis chi-squared =42.225, df =4, p=3.56e-09), mostrando que la tarea cognitiva lograba una sensación de FM en los participantes al ser realizada durante aproximadamente 2 horas (figura 4A).

La distribución de los resultados de la escala de fatiga mental obtenidos posterior a cada bloque de tarea cognitiva mostró efectos significativos entre la medición basal (F0) y la medición realizada inmediatamente posterior al segundo bloque de tarea cognitiva (F2) (p=0.00083), entre F0 y el tercer bloque (F3) (p=0.00004), entre F0 y el cuarto bloque (F4) (p=0.000016), entre la medición realizada inmediatamente posterior al primer bloque de tarea cognitiva (F1) y F3 (p=0.01290) y entre F2 y F4 (p=0.00921). No se observaron diferencias significativas entre F0 y F1 (p=0.08150), F1 y F2 (p=1), F2 y F3 (p=0.53) y entre F3 y F4 (p=0.83) (Figura 4A).

Figura 4.

Efectos de la tarea cognitiva sobre la fatiga mental y la carga de trabajo



Nota: 4A. Escala de fatiga mental. En el eje X se observa la medición basal (F0) y las mediciones posteriores a los cuatro bloques de tarea cognitiva (F1-F4), mientras que en el eje Y se observa el puntaje obtenido en cada medición en la escala de fatiga mental.
4B. Carga de trabajo. En el eje X se observan tres de las subescalas evaluadas por la NASA TLX (demanda mental, demanda temporal y demanda física) al finalizar los cuatro bloques de tarea cognitiva, mientras que el eje Y entrega el puntaje por cada participante en cada subescala de la NASA-TLX.
*Diferencias estadísticamente significativas.

Carga de trabajo

En relación con el puntaje total obtenido en el método NASA-TLX, los resultados mostraron que la tarea realizada durante los cuatro bloques generó un efecto significativo sobre la carga de trabajo (Kruskal-Wallis chi-squared =30.67, df=2, p-value=2.18e-07). El puntaje total promedio obtenido en la evaluación fue clasificado como una carga de trabajo media (M=889.7 SD=171.2).

Los puntajes obtenidos en las subescalas de NASA-TLX fueron mayores para demanda mental (M=30.6 SD=98.4) y demanda temporal (M=219.7 SD=80.7) (Tabla 1).

Tabla 1.

Puntaje promedio obtenido en cada subescala de NASA-TLX.

Subescala NASA-TLX	Demanda mental	Demanda física	Demanda temporal	Rendimiento	Esfuerzo	Frustración
Puntaje asignado por sujeto (mean)	13,5 ± 3,3	2,9 ± 2,9	12,5 ± 2,8	8,8 ± 4,2	12,3 ± 4,7	12,3 ± 4,7
Puntaje NASA-TLX (mean)	305,6 ± 98,4	18,8 ± 62,5	219,7 ± 80,7	105,6 ± 58,4	135 ± 101	103,4 ± 125,2

Nota: Las columnas muestran cada subescala de NASA-TLX. La primera fila muestra el puntaje promedio asignado por los participantes para cada subescala (escala de 0 a 20 puntos), mientras que la segunda fila indica el puntaje obtenido en NASA-TLX en cada subescala en relación con la carga de trabajo asignada por cada participante.

La tarea cognitiva se asoció a mayores efectos sobre las demandas cognitivas que sobre las demandas físicas obteniendo diferencias significativas entre los puntajes de NASA-TLX (p=7.5e-06). Además, la tarea cognitiva se asoció a un efecto mayor en relación con la demanda temporal por sobre las físicas (p=0.000019). Al comparar la demanda mental con la temporal al realizar la tarea cognitiva se observó un efecto mayor en la demanda mental generada durante los cuatro bloques (p=0.049) (Figura 4B).

Los resultados muestran que la tarea ejecutada por los participantes logró inducir fatiga mental en los participantes. Además, la carga de trabajo se atribuye principalmente a demandas mentales y temporales, siendo mayor el requerimiento de demanda mental.

3.2. Desempeño cognitivo y tiempo en la tarea

El desempeño de la tarea cognitiva se analizó en relación con el rendimiento, determinado como la tasa respuestas acertadas (C) y respuestas erróneas (IC), y al tiempo de respuesta de los participantes.

En base al análisis realizado, la tasa de aciertos aumentó de manera significativa durante el transcurso de los cuatro bloques de tarea cognitiva mental (Kruskal-Wallis chi-squared = 11.267, df=3, p=0.01). Se observaron diferencias significativas entre F1 y F2 (p = 0.004), entre F1 y F3 (p=0.017), y entre F1 y F4 (p=0.021). En relación con la tasa de errores no se observaron cambios significativos durante el desarrollo de la tarea cognitiva (Kruskal-Wallis chi-squared =1.0183, df =3, p=0.79) (figura 5A).

De acuerdo con el análisis de varianza realizado con ANOVA no se observó una relación significativa entre la interacción de las respuestas (C e IC) y el RT (F(1, 3)=0.154, p=0.92).

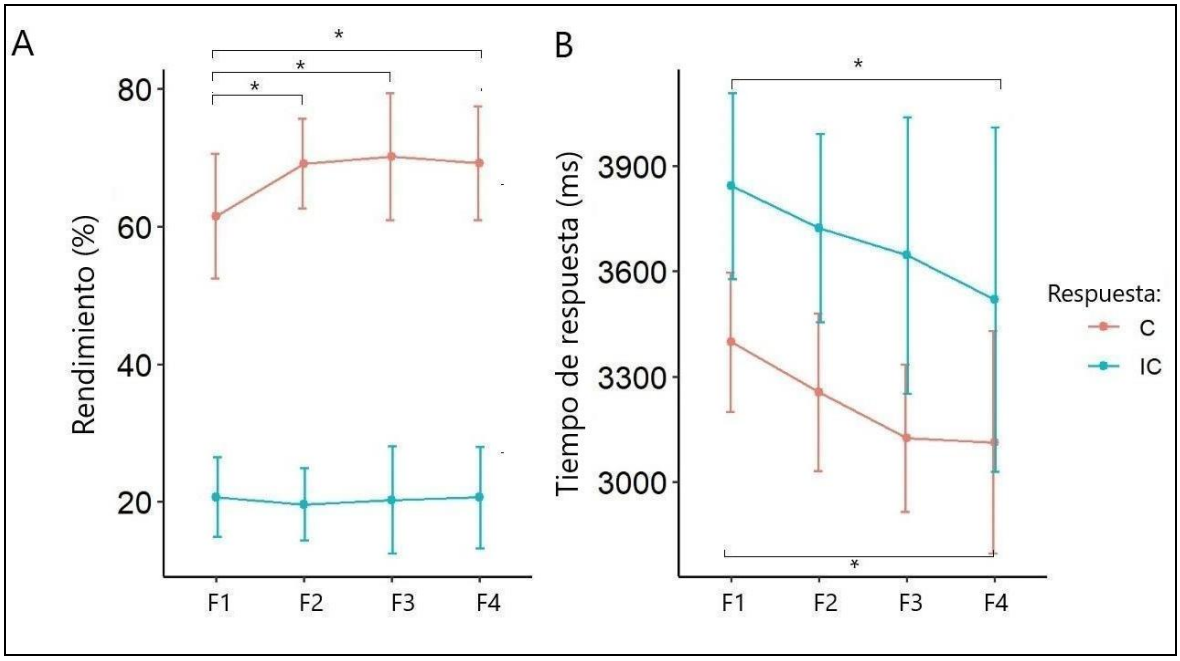
El tiempo de respuesta disminuyó con el transcurso de los cuatro bloques de tarea cognitiva tanto para respuestas acertadas (C), como para respuestas erróneas (IC) (F(3)=5.451, p=0.0016) (Figura 5B). Si bien, RT disminuyó tanto para C como para IC, existió diferencia

significativa entre los valores de RT entre ambos (F(1)=65.847, p-value=6.91e-13), siendo mayor los RT de IC durante los 4 bloques de tarea cognitiva (Tabla 2).

En relación con el análisis post hoc realizado con el método Tukey los tiempos de respuesta disminuyeron durante la ejecución, existiendo diferencias significativas entre los tiempos de respuesta de F1 y F4 (p= 0.0014) y entre F1 y F3 (p=0.02).

Figura 5.

Desempeño en tarea cognitiva



Nota: 5A. Rendimiento (%) obtenido durante los cuatro bloques de tarea cognitiva, la figura muestra en el eje Y el porcentaje de respuestas correctas y respuestas erradas en cada bloque, mientras que en el eje X se observan los cuatro bloques de tarea cognitiva. 5B. Tiempo de respuesta (ms) durante los cuatro bloques de tarea cognitiva, en el eje X se muestran los cuatros bloques, mientras que en el eje Y se observa el tiempo de respuesta. Para ambas figuras el color rojo representa las respuestas correctas y el color azul las respuestas erradas. * Diferencias significativas.

Tabla 1.

Tiempo de respuesta promedio (ms) obtenido en cada bloque de tarea cognitiva

Promedio	F1	F2	F3	F4
Reaction Time C (ms)	3393 ± 192	3243 ± 223	3120 ± 204	3111 ± 306
Reaction Time IC (ms)	3828 ± 263	3707 ± 266	3630 ± 386	3523 ± 474
Rendimiento C (%)	61,49 ± 9,02	69,12 ± 6,51	70,15 ± 9,19	69,20 ± 8,27
Rendimiento IC (%)	20,68 ± 5,76	19,66 ± 5,26	20,28 ± 7,79	20,66 ± 7,36

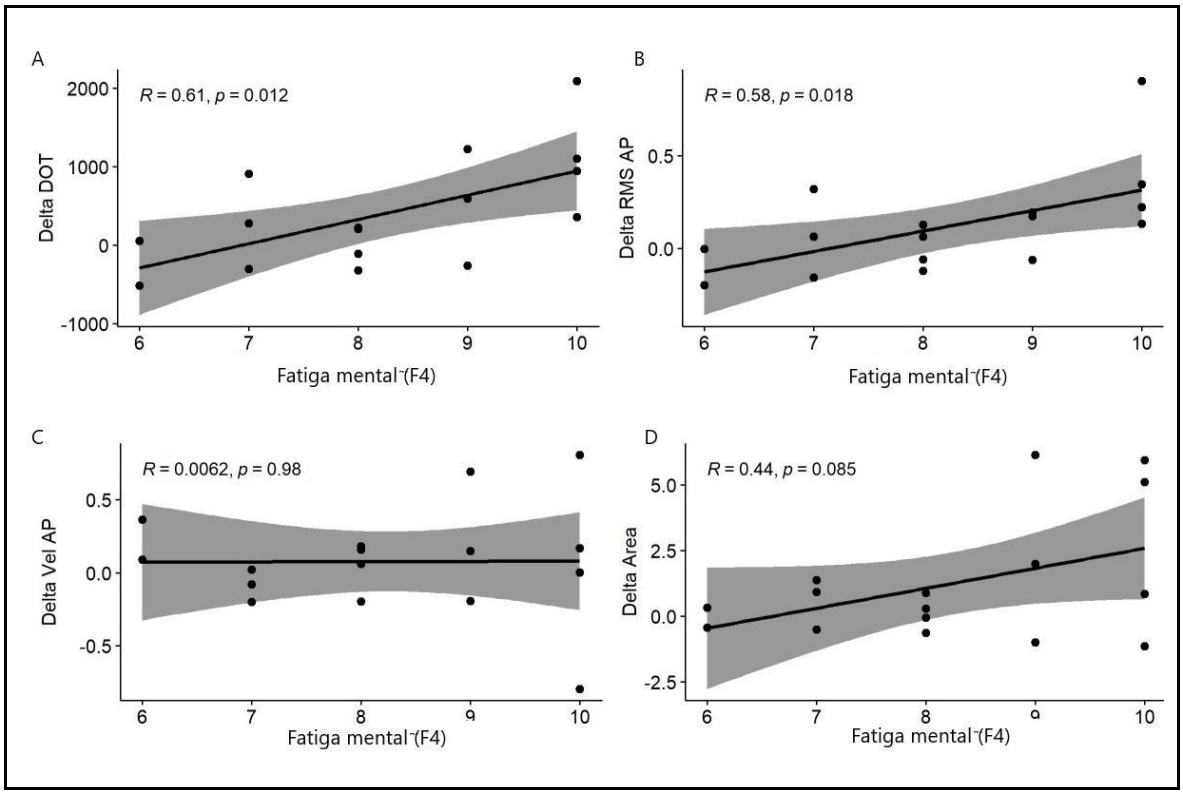
Nota: Las primeras dos filas de la tabla muestran el puntaje promedio del tiempo de respuesta (RT) en milisegundos de respuestas acertadas (C) y de respuestas erradas (IC), mientras que la tercera y cuarta fila muestra el rendimiento en porcentaje de respuestas acertadas (C) y de respuestas erradas (IC). Cada columna representa un bloque de tarea cognitiva (F1-F4).

3.3. Impacto de la fatiga mental sobre el control postural

Los resultados obtenidos a partir del análisis de correlación entre la autopercepción de FM y variables analizadas del COP en condición de ojos abiertos y superficie estable (OA) muestra una correlación positiva y significativa entre la FM y el cambio en el desplazamiento del COP (ΔDOT) (r = .61, p = .012) (Figura 6A). De manera similar, se observó una correlación también positiva entre FM y el cambio en RMS anteroposterior (ΔRMS AP) (r = .58, p = .018) (Figura 6B), sugiriendo que a mayor fatiga mental, mayor inestabilidad postural. En contraste, no se encontró una relación significativa entre FM y el cambio en la velocidad anteroposterior del COP (ΔVel AP) (r = .0062, p = .98) (Figura 6C) y cambio en el área del COP (ΔArea) (r = .44, p = .085). (Figura 6D).

Figura 6.

Relación entre la fatiga mental y parámetros posturales del COP en condición de ojos abiertos

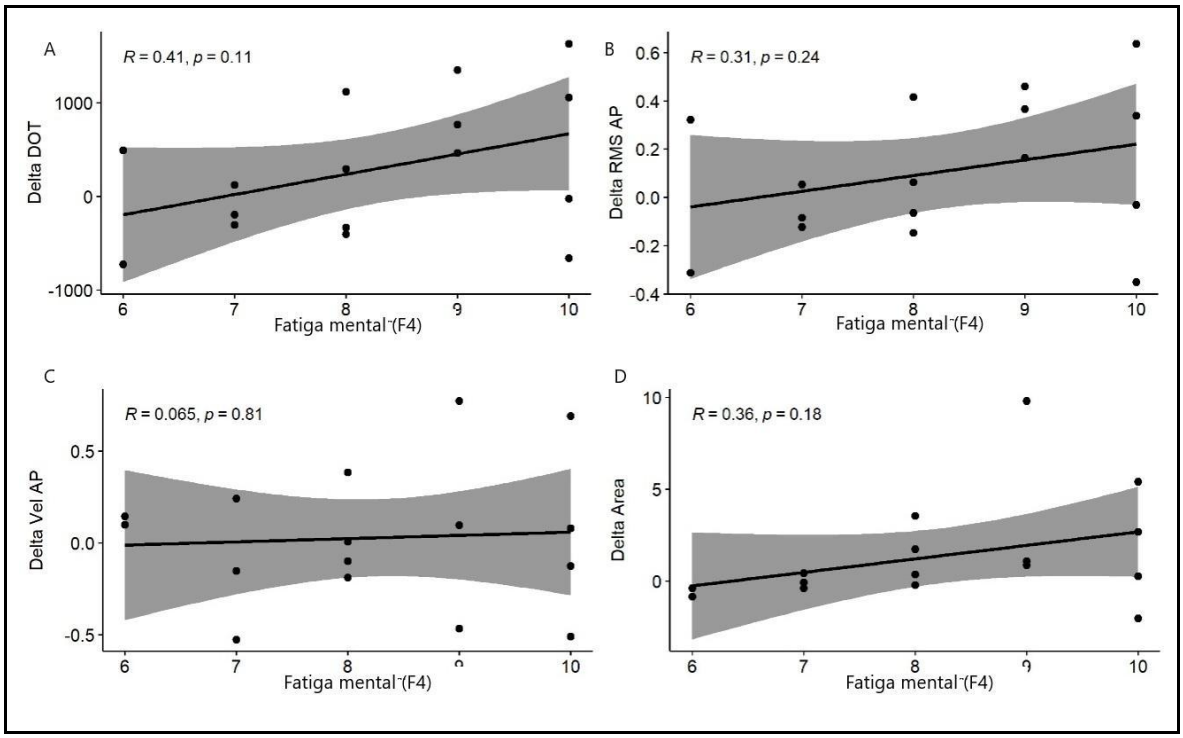


Nota: En el eje "X" se observan los valores de la escala de autopercepción de FM posterior al último bloque de tarea cognitiva (F4) para todas las figuras. En el eje "Y" se muestra el delta del valor final e inicial obtenidos en cada variable asociada al comportamiento del COP (A: DOT, B: RMS anteroposterior, C: Velocidad media anteroposterior, D: Área).

Para la segunda condición sensorial correspondiente a ojos cerrados con superficie inestable (OC), los resultados del análisis de correlación entre la autopercepción de FM y los parámetros del COP sugieren que no existe una relación significativa entre estas variables (Figura 7): ΔDOT (r = .41, p = .11), ΔRMS AP (r = .31, p = .24), Δ Vel AP (r = .065, p = .81) Y ΔÁrea (r = .36, p = .18)

Figura 7.

Relación entre la fatiga mental y parámetros posturales del COP en condición de ojos cerrados

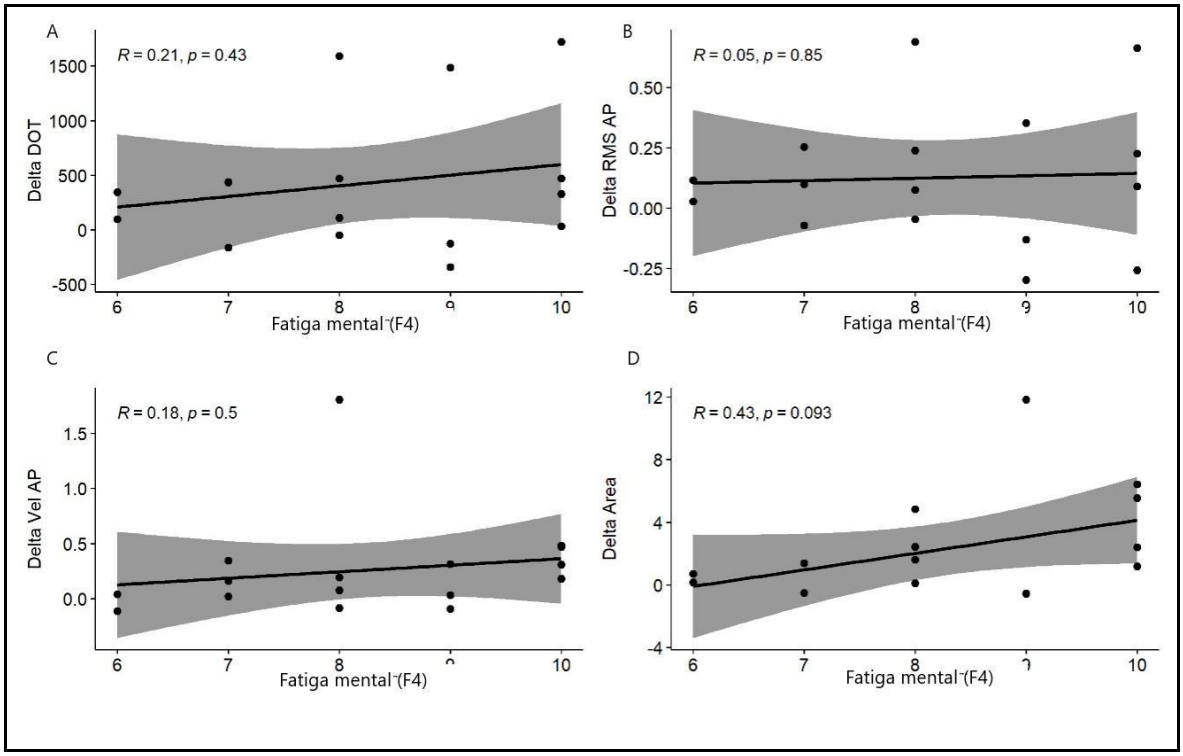


Nota: En el eje "X" se observan los valores de la escala de autopercepción de FM posterior al último bloque de tarea cognitiva (F4) para todas las figuras. En el eje "Y" se muestra el delta del valor final e inicial obtenidos en cada variable asociada al comportamiento del COP (A: DOT, B: RMS anteroposterior, C: Velocidad media anteroposterior, D: Área).

Para la última condición correspondiente a ojos abiertos con superficie inestable (SI), no se encontraron relaciones estadísticamente significativas entre la FM (medida en F4) y los parámetros posturales analizados (Figura 8): ΔDOT (r = .21, p = .43), ΔRMS AP (r = .005, p = .85), Δ Vel AP (r = .18, p = .5) Y ΔÁrea (r = .43, p = .093)

Figura 8.

Relación entre la fatiga mental y parámetros posturales del COP en condición de superficie inestable



Nota: En el eje "X" se observan los valores de la escala de autopercepción de FM posterior al último bloque de tarea cognitiva (F4) para todas las figuras. En el eje "Y" se muestra el delta del valor final e inicial obtenidos en cada variable asociada al comportamiento del COP (A: DOT, B: RMS anteroposterior, C: Velocidad media anteroposterior, D: Área).

4. Discusión

4.1 Fatiga mental y desempeño cognitivo

El objetivo de este estudio consistió en evaluar el impacto de la FM generada por una tarea cognitiva sostenida en el tiempo sobre el comportamiento del COP en adultos jóvenes universitarios bajo tres condiciones sensoriales diferentes, realizando variaciones en el sistema visual y/o somatosensorial.

Los resultados muestran que la tarea cognitiva ejecutada logra inducir una sensación de FM en los participantes como se observó en la escala de autopercepción de FM aplicada, evidenciando que realizar una tarea cognitiva durante 120 minutos expone a las personas a desarrollar FM.

Además, la aplicación del cuestionario NASA-TLX permitió detectar que la carga asociada a la tarea fue principalmente mental de acuerdo con lo reportado por los participantes, presentando, además, una alta demanda temporal, siendo una alternativa al momento de inducir FM en estudios futuros.

En relación con el desempeño de la tarea cognitiva, al igual que en el estudio realizado por Verschueren J. en 2020, donde se observó una mejora en la precisión de las tareas realizadas (Verschueren J. et al., 2020), en el presente estudio se evidenció un aumento en la tasa de aciertos a lo largo del tiempo, especialmente entre el bloque uno contrastado con los otros bloques. Este fenómeno podría asociarse con la adquisición progresiva de habilidades por parte de los participantes conforme realizaban la tarea. Estudios previos han señalado que, en las etapas iniciales de aprendizaje, cuando las personas carecen de experiencia previa, la secuencia de acciones suele adquirirse de manera rápida y flexible, lo que facilita una mejora notable en el rendimiento (Dahms, C. et al., 2019). Además, según se ha observado en la literatura las disminuciones en el rendimiento no se dan de forma sistemática, ya que sus respuestas pueden mejorar mediante el entrenamiento (Pessiglione, M., et al. 2025). Es importante destacar que ninguno de los participantes de este estudio tenía conocimiento previo sobre la tarea cognitiva, ni refirieron haber realizado actividades similares, lo que probablemente favoreció una mayor adquisición conforme avanzaban en la tarea. Considerando lo anterior, y para abordar esta nueva pregunta desde la perspectiva del potencial aprendizaje de los participantes, se recomienda explorar el desempeño en tareas que sean familiares para los sujetos. Esto permitiría observar los efectos de la FM directamente, minimizando la interferencia de posibles procesos de aprendizaje asociados a la tarea.

Es relevante mencionar que diversas tareas cognitivas pueden inducir FM. Las tareas con una baja carga de información pueden resultar más fatigantes, ya que aquellas que implican una mayor demanda tienden a aumentar la motivación para un desempeño óptimo (Lorist & Faber, 2011). Este factor podría haber influido en el rendimiento observado durante la tarea desarrollada en esta investigación, la cual, según el cuestionario NASA-TLX, fue clasificada como de alta carga cognitiva

En relación con la evidencia se esperaba que la FM afectara el rendimiento de la tarea, sin embargo, se ha visto que otros aspectos como la motivación pueden influir en el

mantenimiento de una adecuada performance. Por ende, la medición del desempeño de una tarea por sí sola puede no identificar con precisión un estado de fatiga mental (Smith, M. et al, 2019), pudiendo ser la evaluación postural una alternativa que acompañe a los cuestionarios o escalas subjetivas de FM.

Si bien la tasa de aciertos aumentó en el transcurso del tiempo, la tasa de errores se mantuvo, ya que no presentó cambios significativos. Lo anterior, puede indicar que las personas realizaban menor omisión de respuestas, pero mantenían la cantidad de respuestas erradas, pudiendo asociarse al estado de FM que manifestaban. Es decir, a pesar de mejorar su desempeño, no eran capaces de disminuir sus errores.

A medida que se realizó la tarea cognitiva, se observó una disminución en el tiempo de respuesta. Sin embargo, la evidencia relacionada con este indicador es controvertida. Algunos estudios han señalado que la FM puede provocar un aumento significativo en el tiempo de respuesta en personas jóvenes (Morris & Christie, 2020). En contraste, un protocolo realizado el mismo año no encontró cambios en el tiempo de reacción a lo largo de la tarea (Verschueren et al. 2020). Sin embargo, es relevante considerar que la mayoría de los estudios han evaluado el tiempo de reacción, otorgando tiempos acotados para responder; por ejemplo, el protocolo realizado en 2020 por Verschuren et al, realizó dos tareas cognitivas diferentes, en donde los estímulos se presentaron durante 200 ms, variando el intervalo entre estímulos entre 1000 y 1900 ms (Verschueren, J. et al., 2020), mientras que en la tarea cognitiva realizada en el presente estudio el estímulo se mantenía durante 5000 ms, por lo que el tiempo que presentaban para contestar era mayor, entregando más espacio al acierto.

Para medir tiempos de reacción se pueden utilizar protocolos con tiempos de respuesta reducidos, ya que en este estudio las personas utilizaban gran parte del tiempo otorgado en buscar la respuesta correcta, no siendo representativo al tiempo de reacción, sino más bien al tiempo de respuesta y otorgando la oportunidad de mejorar su desempeño. Un estudio que indujo FM mediante una tarea cognitiva obtuvo tiempos de reacción de 320.30 ± 39.16 ms en población joven que presentaba FM (Morris & Christie, 2020), mientras que en este estudio los tiempos de respuesta fueron mayor a 3000 ms incluso en las mediciones iniciales sin FM, sugiriendo que se deben aplicar tiempos de respuesta menor para obtener resultados objetivos de los tiempos de reacción.

4.2 Fatiga mental y control postural

Con relación a las evaluaciones posturales, a diferencia de lo que se observó en un estudio anterior, en donde se observó que las perturbaciones en el sistema visual y somatosensorial generan un aumento en el balanceo postural (Sullivan, E. et al., 2009). Los individuos en esta investigación presentaron diferencias en el balanceo postural entre la medición basal y las evaluaciones posteriores a la ejecución de la tarea cognitiva en condiciones sensoriales menos exigentes.

Si bien todas las variables del balanceo postural revisadas en esta investigación presentaron una tendencia ascendente a medida que los participantes percibían mayor fatiga, estos resultados solo muestran una correlación significativa para la condición sensorial de superficie estable. Esto se contradice con lo presentado en un estudio realizado en 2015, el

cual concluyó que una tarea cognitiva sostenida afecta el equilibrio sólo en condiciones donde se altera la información sensorial (Mehdizadeh et al., 2015).

De manera global, se observó que la sensación de FM reportada por los participantes a lo largo de la ejecución de la tarea tiene efectos negativos sobre el control postural, alterando variables relacionadas al COP, como el DOT y RMS anteroposterior. Lo anterior se atribuye a un compromiso en el nivel de atención (Hachard, B. 2020), el cual se ve alterado producto de la FM inducida por la tarea, dificultando la capacidad de controlar el balanceo postural bajo esta condición. Es probable que la tarea cognitiva prolongada agote las reservas de atención, afectando el rendimiento al intentar mantener la postura bípeda estática (Pitts J. & Bhatt, T., 2023), las cuales al parecer no se pueden regenerar de manera inmediata (Sanders, A. 1997).

Una revisión sistemática mencionó que la mayoría de los estudios que han evaluado el desempeño del control postural en condiciones de FM lo han realizado solamente al finalizar la tarea cognitiva (Pitts J. & Bhatt, T., 2023). Este estudio realizó evaluaciones intermedias que muestran el comportamiento del COP en el transcurso del tiempo en tres condiciones sensoriales diferentes. Sin embargo, sería interesante evaluar el desempeño en una condición extra de tarea dual, que permita observar además como se ve afectado el rendimiento en esta, ya que muchas personas deben mantenerse de pie mientras realizan una tarea desafiante cognitivamente.

La velocidad media anteroposterior no sufrió cambios significativos producto de la FM en ninguna de las condiciones sensoriales, a diferencia de un estudio previo que observó un aumento en esta variable (Mehdizadeh et al., 2015). Sin embargo, estos cambios ocurrieron sobre una superficie inestable con ojos cerrados, apuntando a que la velocidad es sensible a cambios sensoriales más exigentes, además, estos resultados se observaron en adultos mayores, quienes tampoco presentaron cambios en la velocidad en condiciones de ojos abiertos y ojos cerrados sobre una superficie estable.

Cabe destacar que las evaluaciones posturales se realizaron con calzado para los primeros siete sujetos, posteriormente se decidió eliminar el uso de calzado para los siguientes participantes. Sin embargo, se recomienda en futuras evaluaciones utilizar el mismo protocolo para todos los sujetos del estudio, evitando posibles diferencias en las mediciones.

Con relación a la hipótesis planteada, se puede inferir que la sensación de FM provocada por una tarea cognitiva prolongada puede afectar el control postural en jóvenes sanos, principalmente en condiciones sensoriales poco demandantes.

Se debería incluir en futuros estudios una medición posterior tanto de FM como de balanceo postural que permita conocer los efectos de la tarea cognitiva en el tiempo, ya que hay evidencia que indica que realizar una tarea cognitiva de 45 minutos puede manifestar FM incluso 60 minutos posterior a haber finalizado (Smith M., et al, 2019). Lo cual es relevante considerar, ya que puede afectar la seguridad de los estudiantes.

5. Perspectiva del componente de innovación y transferencia

5.1. Propuesta de modelo de negocios

La medición del control postural corresponde a una alternativa innovadora para evaluar o detectar estados de FM en estudiantes y trabajadores. A partir de la investigación realizada, nace el proyecto "Fatigada-mente", ofreciendo a empresas y establecimientos educacionales un servicio que permita detectar FM, buscando disminuir las consecuencias negativas de esta.

El servicio contempla una medición basal sumado a una medición previa o posterior (según el requerimiento del cliente) a la ejecución de una tarea que pueda ser demandante cognitivamente, que exponga a las personas a estados de FM. Esta medición se realizará utilizando una WBB, cuyos datos serán procesados utilizando un código generado en RStudio, que entregará un resultado comparable con la medición basal indicando si la persona se encuentra fatigada mentalmente.

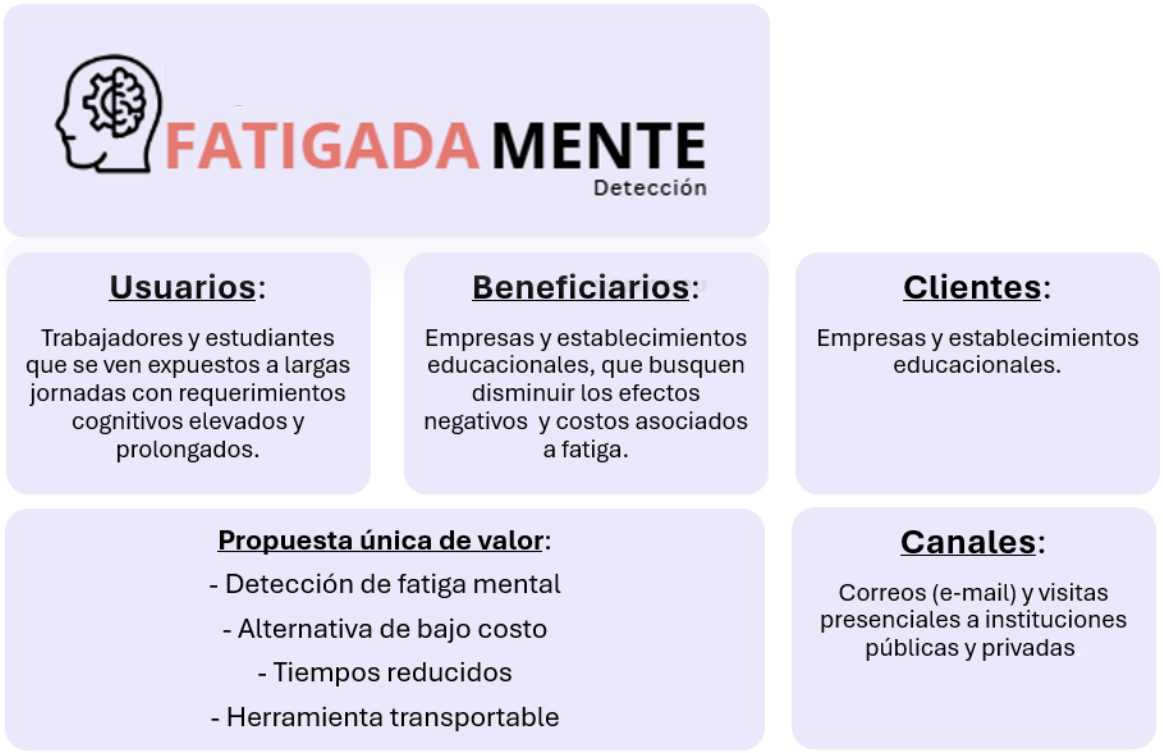
De acuerdo con el modelo de innovación planteado por Doblin, este proyecto se encasilla actualmente en "rendimiento del producto", ofreciendo características distintivas de otros métodos de detección para FM utilizados en la actualidad. La propuesta única de valor se destaca por entregar una alternativa que permita medir el comportamiento del COP como estrategia de detección para FM, ofreciendo una alternativa económica, ya que el valor de la plataforma utilizada es menor al de herramientas de medición utilizados en laboratorios. Además, ofrece tiempos de medición reducidos, pudiendo evaluarse en sólo 30 segundos, lo que evita pérdidas de tiempo dedicadas a estas mediciones. Por último, es relevante destacar que la plataforma es transportable e inalámbrica, generando una mayor comodidad al momento de utilizarla (Figura 7).

Para comenzar a implementar el servicio se dirigirá su aplicación a detectar FM en estudiantes universitarios, apuntando a la gestión de carga académica evitando una disminución en el rendimiento. Los "early adopters" de este proyecto serán las escuelas de kinesiología de la Universidad Metropolitana en Ciencias de la Educación y la Universidad Finis Terrae.

Para la evaluación del éxito de este servicio en estas instituciones se establecieron dos KPI: uno cualitativo, siendo este la mejora en el rendimiento y estado anímico de los estudiantes y otro cuantitativo medido a través del aumento en las calificaciones de los alumnos.

Figura 7.

Propuesta de negocio



Se llevó a cabo un análisis Tam Sam Som para estimar el tamaño del mercado. De acuerdo con el informe de matrículas de educación superior en Chile del año 2024, existen 137 instituciones vigentes, que presentan 1.385.828 de estudiantes matriculados, siendo el 45,6% de las matrículas correspondientes a la Región Metropolitana (Ministerio de Educación, 2024, p.4-6). El mercado alcanzable de manera realista en la Región Metropolitana puede incluir a las principales universidades, pudiendo comenzar con un 2-5% del mercado en la región.

5.2. Capacidades, equipo, colaboradores y alianzas

Los instrumentos necesarios para la ejecución del proyecto no implican costos elevados, para la implementación inicial se cuenta con todos los recursos necesarios, tales como, una WBB y un computador portátil con programa compatible con la plataforma para realizar los registros de las personas. Además, el código necesario para el análisis e interpretación de los datos ya fue creado, por lo que su uso es rápido y reproducible.

Además, presentamos relaciones con distintas escuelas de universidades que podrían interesarse en el servicio. En relación con lo anterior, en la Universidad Finis Terrae estamos realizando una investigación que permita detectar los niveles de FM en los estudiantes,

buscando recopilar datos que permitan difundir y respaldar la necesidad de implementar una herramienta de detección.

5.3. Impacto Potencial Económico y Social esperados

En relación con el nivel de madurez tecnológica (TRL), este proyecto se encasilla actualmente en el segundo nivel, conocido como investigación aplicada, en el cual se formula el concepto de la tecnología y/o su aplicación, permitiendo respaldar la información obtenida mediante la evidencia previa, aportando conocimiento en relación al impacto que puede tener la FM sobre variables posturales.

Este servicio busca mediante la detección de la FM, disminuir las consecuencias negativas generadas por esta, dentro de las cuales destacan: reducción de costos asociados a pérdida de producción provocadas por fatiga, impedir un rendimiento inadecuado o negativo e incluso evitar accidentes generados por alteraciones en la atención o en el estado de alerta.

En ámbitos académicos se espera mejorar el rendimiento de los estudiantes, impactando, además, a niveles emocionales, ya que las calificaciones bajas se asocian a un mayor estrés y depresión en universitarios. Esto a su vez, conlleva a una reducción en el abandono por estrés que se genera comúnmente en establecimientos educacionales.

6. Referencias

Agurto Rivera, N. (2019). Detección de fatiga mental en tareas atencionales a través de cambio de la temperatura corporal periférica. Disponible en https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/178172

Bachleda, C., & Darhiri, L. (2018). Internet addiction and mental and physical fatigue. *The International Technology Management Review*, *7*(1), 25-33.

Boksem, M. A. S., Meijman, T. F., & Lorist, M. M. (2006). Mental fatigue, motivation and action monitoring. *Biological Psychology*, 72(2), 123–132. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2005.08.007

Boksem, M. a S., & Tops, M. (2008). Mental fatigue: costs and benefits. *Brain Research Reviews*, 59(1), 125–139. DOI: 10.1016/j.brainresrev.2008.07.001

Cheng, S., Sun, J., Ma, J., Dang, W., Tang, M., Hui, D., Hu, W. (2018). Posturographic balance's validity in mental and physical fatigue assessment among cadet pilots. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89(11), 961–966. DOI: 10.3357/AMHP.5128.2018

Clark, R. A., Mentiplay, B. F., Pua, Y.-H., & Bower, K. J. (2018). Reliability and validity of the Wii Balance Board for assessment of standing balance: A systematic review. *Gait & Posture*, 61, 40–54. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2017.12.022

Dahms, C., Brodoehl, S., Witte, O. W., & Klingner, C. M. (2020). The importance of different learning stages for motor sequence learning after stroke. *Human Brain Mapping*, *41*(1), 270-286. DOI: 10.1002/hbm.24793

Delliaux, S., Delaforge, A., Deharo, J. C., & Chaumet, G. (2019). Mental Workload Alters Heart Rate Variability, Lowering Non-linear Dynamics. *Frontiers in Physiology*, 10(May), 1–14. DOI: 10.3389/fphys.2019.00565

Di Stasi, L. L., McCamy, M. B., Catena, A., Macknik, S. L., Canas, J. J., & Martinez-Conde, S. (2013). Microsaccade and drift dynamics reflect mental fatigue. *European Journal of Neuroscience*, *38*(3), 2389-2398. DOI: 10.1111/ejn.12248

Dismukes, R. K. (2017). *Human error in aviation.* Routledge.

Dittner A. J., Wessely & Brown (2004). The assessment of fatigue: A practical guide or clinicians and researchers. *Journal of Psychosomatic Research*, 56(2), 157-170. DOI: 10.1016/S0022-3999(03)00371-4

Duarte, M., & Freitas, S. M. (2010). Revision of posturography based on force plate for balance evaluation. *Brazilian Journal of physical therapy*, *14*, 183-192. DOI: 10.1590/S1413-35552010000300003

Gaínza Kunstmann, J. (2015). Diseño e implementación de metodología para desarrollo de sistema detector de fatiga mental mediante el análisis de la variabilidad del ritmo cardíaco a

través de vestimentas electrotextiles. Disponible en https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/137863

Hachard, B., Noé, F., Ceyte, H., Trajin, B., & Paillard, T. Balance control is impaired by mental fatigue due to the fulfilment of a continuous cognitive task or by the watching of a documentary. *Exp Brain Res* 238, 861–868 (2020). DOI: 10.1007/s00221-020-05758-2

Hart, S. G. (2006). NASA-Task Load Index (NASA-TLX); 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9). DOI: 10.1177/154193120605000909

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. *Human Mental Workload*, 139–183. DOI: 10.1016/S0166-4115(08)62386-9

Haskell, C.F., Kennedy, D.O., Wesnes, K.A. et al. Cognitive and mood improvements of caffeine in habitual consumers and habitual non-consumers of caffeine. *Psychopharmacology* 179, 813–825 (2005). DOI 10.1007/s00213-004-2104-3

Hirvonen, K., Puttonen, S., Gould, K., Korpela, J., Koefoed, V. F., & Müller, K. (2010). Improving the saccade peak velocity measurement for detecting fatigue. *Journal of neuroscience methods*, 187(2), 199-206. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2010.01.010

Instituto de Seguridad Laboral. (Ministerio del Trabajo y Previsión Social Gobierno de Chile). *NASA TLX*. https: ergomedia.es.trozo.cl/aplicación_er/nasatlx/

Kaur, S. S., Eriksson, M., & Papanikolopoulos, N. P. (1999). *Automatic detection of driver fatigue-Phase III.* Minnesota Department of Transportation

Lafond, D., Corriveau, H., Hébert, R., & Prince, F. (2004). Intrasession reliability of center of pressure measures of postural steadiness in healthy elderly people. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *85*(6), 896-901. DOI: 10.1016/j.apmr.2003.08.089

Lorist, M. M., & Faber, L. G. (2011). Consideration of the influence of mental fatigue on controlled and automatic cognitive processes and related neuromodulatory effects. *Cognitive Fatigue: Multidisciplinary Perspectives on Current Research and Future Applications*, 105–126. DOI: 10.1037/12343-005

Mehdizadeh H, Taghizadeh G, Ghomashchi H et al (2015) The effects of a short-term memory task on postural control of stroke patients. *Top Stroke Rehabil* 22, 335–341.DOI: 10.1179/1074935714Z.0000000039

Ministerio de Educación (MINEDUC) (2024). Informe de Matrícula en educación superior en Chile 2024.

Mizuno, K., Tanaka, M., Fukuda, S., Imai-Matsumura, K., & Watanabe, Y. (2011). Relationship between cognitive functions and prevalence of fatigue in elementary and junior high school students. *Brain and Development*, 33(6), 470-479. DOI: 10.1016/j.braindev.2010.08.012

Morales, J. M., Díaz-Piedra, C., Rieiro, H., Roca-González, J., Romero, S., Catena, A. & Di Stasi, L. (2017). Monitoring driver fatigue using a single-channel electroencephalographic device: A validation study by gaze-based, driving performance, and subjective data. *Accident Analysis and Prevention*, 109, 62–69. DOI: 10.1016/j.aap.2017.09.025

Morris, A. J., & Christie, A. D. (2020). The effect of a mentally fatiguing task on postural balance control in young and older women. *Experimental gerontology*, *132*, 110840. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002323

Mumenthaler, M., Yesavage, J., Taylor, J. et al. Psychoactive Drugs and Pilot Performance: A Comparison of Nicotine, Donepezil, and Alcohol Effects. *Neuropsychopharmacol* 28, 1366–1373 (2003). DOI: 10.1038/sj.npp.1300202

Müller, T., & Apps, M. A. (2019). Motivational fatigue: A neurocognitive framework for the impact of effortful exertion on subsequent motivation. *Neuropsychologia*, *123*, 141-151. DOI:10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.030

Palluel, E., Nougier, V., & Olivier, I. (2010). Postural control and attentional demand during adolescence. *Brain Research*, *1358*, 151-159. DOI: 10.1016/j.brainres.2010.08.051

Pessiglione, M., Blain, B., Wiehler, A., & Naik, S. (2025). Origins and consequences of cognitive fatigue. *Trends in Cognitive Sciences*. DOI: 10.1016/j.tics.2025.02.005

Pitts, J., Bhatt, T. Effects of mentally induced fatigue on balance control: a systematic review. *Exp Brain Res* 241, 13–30 (2023). https://doi.org/10.1007/s00221-022-06464-x

Reed-Jones, R. J., Dorgo, S., Hitchings, M. K., & Bader, J. O. (2012). WiiFit™ Plus balance test scores for the assessment of balance and mobility in older adults. *Gait & Posture*, 36(3), 430–433. DOI: 10.1016/j.gaitpost.2012.03.027

Ricci, J. A., Chee, E., Lorandeau, A. L., & Berger, J. (2007). Fatigue in the US workforce: prevalence and implications for lost productive work time. *Journal of occupational and environmental medicine*, 1-10. DOI: 10.1097/01.jom.0000249782.60321.2a

Rojas, F. R., Sazo, M. M., Poblete, I. F., Osorio, P. F., Alcántara, V. Á., & Riquelme, J. O. (2022). Percepción de carga mental de trabajo en personas funcionarias administrativas que se desempeñan en una municipalidad de Chile. *Enfermería Actual de Costa Rica*, (43). DOI: 10.15517/enferm.actual.cr.v0i43.46933

Sanders, A. F. (1997). A summary of resource theories from a behavioral perspective. *Biological Psychology*, *45*(1-3), 5-18. DOI: 10.1016/S0301-0511(96)05220-9

Shumway-Cook and Woollacott. (2012) Motor Control, Theory and Practical Applications. 3° Edición. Editorial Williams & Wilkins.

Smith, A. P. (2018). Cognitive fatigue and the well-being and academic attainment of university students. *Journal of Education, Society and Behavioral Science*, 24(2), 1-12. DOI: 10.9734/JESBS/2018/39529

Smith, M. R., Chai, R., Nguyen, H. T., Marcora, S. M., & Coutts, A. J. (2019). Comparing the effects of three cognitive tasks on indicators of mental fatigue. *The Journal of Psychology, 1–25.* DOI:10.1080/00223980.2019.1611530

Sullivan, E. V., Rose, J., Rohlfing, T., & Pfefferbaum, A. (2009). Postural sway reduction in aging men and women: relation to brain structure, cognitive status, and stabilizing factors. *Neurobiology of aging*, 30(5), 793-807. DOI: 10.1016/j.neurobiolaging.2007.08.021

Tran, Y., Craig, A., Craig, R., Chai, R., & Nguyen, H. (2020). The influence of mental fatigue on brain activity: Evidence from a systematic review with meta-analyses. *Psychophysiology*, 57(5). DOI: 10.1111/psyp.13554

Varas-Diaz, G., Kannan, L., & Bhatt, T. (2020). Effect of Mental Fatigue on Postural Sway in Healthy Older Adults and Stroke Populations. *Brain Sciences*, 10(6), 388. DOI: 10.3390/brainsci10060388

Verschueren, J. O., Tassignon, B., Proost, M., Teugels, A., Roelands, B., Verhagen, E., & Meeusen, R. (2020). Does mental fatigue negatively affect outcomes of functional performance tests?. *Medicine and science in sports and exercise*, *52*(9), 2002-2010. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002323

Wanyan, X., Zhuang, D., & Zhang, H. (2014). Improving pilot mental workload evaluation with combined measures. *Bio-medical materials and engineering*, 24(6), 2283-2290. DOI 10.3233/BME-141041

Zhang, G., Yau, K. K., Zhang, X., & Li, Y. (2016). Traffic accidents involving fatigue driving and their extent of casualties. *Accident Analysis & Prevention*, 87, 34-42. DOI: 10.1016/j.aap.2015.10.033

Zhornitsky, S., Pelletier, J., Assaf, R., Giroux, S., Chiang-shan, R. L., & Potvin, S. (2021). Acute effects of partial CB1 receptor agonists on cognition–A meta-analysis of human studies. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, *104*, 110063. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2020.110063

7. Material suplementario

ANEXO 1: Cuestionario de fatiga mental

"Fatiga Mental"

Encierre con un círculo el número que represente el nivel de fatiga mental durante los cinco minutos inmediatamente anteriores:

1. Extremadamente descansado mentalmente
2. Muy descansado mentalmente
3. Descansado mentalmente
4. Más o menos descansado mentalmente
5. Ni cansado, ni fatigado mentalmente
6. Algunos signos de fatiga mental
7. Fatigado mentalmente, pero sin esfuerzo de mantenerme en mi actividad
8. Fatigado mentalmente, algún esfuerzo para mantenerme en mi actividad
9. Muy fatigado mentalmente, gran esfuerzo para mantenerme en mi actividad, luchando para mantenerme activo
10. Extremadamente fatigado mentalmente, no puedo mantenerme en mi actividad

ANEXO 2: NASA-TLX

A continuación puede observar una serie de cuadros, seleccione una opción por cada cuadro realizándose la siguiente pregunta. ¿La exigencia de mi trabajo es?:

◯ Exigencias Mentales ◯ Exigencias Fisicas	◯ Exigencias Fisicas ◯ Exigencias Temporales	◯ Exigencias Temporales ◯ Esfuerzo
◯ Exigencias Mentales ◯ Exigencias Temporales	◯ Exigencias Fisicas ◯ Rendimiento	◯ Exigencias Temporales ◯ Nivel de Frustación
◯ Exigencias Mentales ◯ Rendimiento	◯ Exigencias Fisicas ◯ Esfuerzo	◯ Rendimiento ◯ Esfuerzo
◯ Exigencias Mentales ◯ Esfuerzo	◯ Exigencias Fisicas ◯ Nivel de Frustación	◯ Rendimiento ◯ Nivel de Frustación
◯ Exigencias Mentales ◯ Nivel de Frustación	◯ Exigencias Temporal ◯ Rendimiento	◯ Esfuerzo ◯ Nivel de Frustación

En el siguiente recuadro debe marcar el nivel de exigencia de cada factor en una escala de 1 a 20 (siendo 1 la menor exigencia y 20 la máxima).

Exigencia Mental ¿Que tan demandante mentalmente es la tarea? 1	**Exigencia Fisica** ¿Que tan demandante fisicamente es la tarea? 1
Exigencia Temporales ¿Que tan fuerte o rapido es el ritmo impuesto para hacer la tarea? 1	**Rendimiento** ¿Que tan exitoso ha sido para lograr lo que ha requerido? 1
Esfuerzo ¿Que tan duro tiene que trabajar para lograr un adecuado nivel de rendimiento? 1	**Nivel de Frustación** ¿Que tan inseguro, irritado o estresado y molesto esta por la tarea? 1