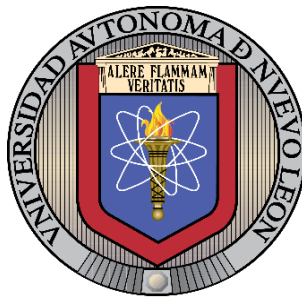


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN COGNICIÓN Y
EDUCACIÓN**



**EFFECTOS DE LA PRIVACIÓN TOTAL DEL SUEÑO EN LOS COMPONENTES DEL
MECANISMO DE REGULACIÓN DE LAS FUNCIONES EJECUTIVAS**

**TESIS COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS**

PRESENTA

BRYAN ONDARZA SOSA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. PABLO VALDEZ RAMÍREZ

MONTERREY, N. L., MÉXICO, JULIO DE 2026

UNIVERSIDAD DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN COGNICIÓN Y
EDUCACIÓN**



**EFFECTOS DE LA PRIVACIÓN TOTAL DEL SUEÑO EN LOS COMPONENTES DEL
MECANISMO DE REGULACIÓN DE LAS FUNCIONES EJECUTIVAS**

**TESIS COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA
EN CIENCIAS**

PRESENTA

BRYAN ONDARZA SOSA

DIRECTOR DE TESIS:

DR. PABLO VALDEZ RAMÍREZ

MONTERREY, N. L., MÉXICO, JULIO DE 2026

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE PSICOLOGÍA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN COGNICIÓN Y EDUCACIÓN

La tesis titulada “EFECTOS DE LA PRIVACIÓN TOTAL DEL SUEÑO EN LOS COMPONENTES DEL MECANISMO DE REGULACIÓN DE LAS FUNCIONES EJECUTIVAS” que presenta BRYAN ONDARZA SOSA ha sido aprobada por el Comité de Tesis.

Dr. Pablo Valdez Ramírez
Director de Tesis

Dr. Carlos Alberto Gallegos Ortiz
Revisor de Tesis

Dra. Minerva Aida García García
Revisora de Tesis

Monterrey, Nuevo León, México

DEDICATORIA

A mi familia

*Adriana, Rafael, Kevin,
Karen, Marian, Xochitl, Tiffany y Vanessa*

AGRADECIMIENTOS

- A los participantes, por su interés en formar parte de esta investigación y su disposición durante cada fase del registro.
- A los colaboradores del Laboratorio de Psicofisiología, por su dedicación en el registro y análisis de los datos de este estudio.
- Al Dr. Pablo Valdez, por dirigir este trabajo, por compartir su pasión por la ciencia y por impulsar mi sueño de dedicarme a la investigación.
- A la Dra. Aída García y al Dr. Carlos Gallegos, por sus observaciones y sugerencias que contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo.
- A la Dra. Candelaria Ramírez y al Dr. Jorge Borrani, por su apoyo durante la Licenciatura y la Maestría.
- A la Mtra. Ivana Santos y a la Mtra. Mariel Mancilla, por motivar mi formación científica a través de su ejemplo y guía.
- A Jorge Gómez, Fernando Bernal, Diego Martínez, Gonzalo Guerra, Daniela Meza, Karen Coronado y Luisa Pimentel, por su compañía durante la Maestría.
- A Frida Barrientos y Fernanda Mendoza, por sus ánimos y confianza durante la elaboración de este trabajo.
- A Karen Peña, Marian Guajardo, Xochitl Nuñez, Tiffany Rottigni y Vanessa Anaya, por creer en mí y por escucharme hablar constantemente acerca de esta tesis.
- A mis padres, Adriana Sosa y Rafael Ondarza, y a mi hermano, Kevin Ondarza, por su cariño y por enseñarme la importancia del esfuerzo y la constancia.

RESUMEN

Diversos estudios de privación total de sueño han reportado que las funciones ejecutivas presentan variaciones homeostáticas. Sin embargo, estos estudios describen las funciones ejecutivas como procesos psicológicos. Es necesario analizar las variaciones homeostáticas en las funciones ejecutivas basándose en un modelo teórico que defina estas funciones como procesos cerebrales. El objetivo de esta tesis fue determinar la existencia de variaciones homeostáticas en los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. Participaron 20 estudiantes universitarios con una edad promedio de 19.20 ± 1.94 años, 13 mujeres y 7 hombres. Se utilizó una tarea de seguimiento computarizada en la que aparecían círculos de diferentes colores. Los participantes respondieron la tarea en tres condiciones: sin retroalimentación (SR), retroalimentación externa (RE) y retroalimentación verbal inmediata (RV). En todas las condiciones tenían que responder con el botón izquierdo del ratón de computadora ante los círculos negros (continuar), no responder ante los círculos rojos (detener), responder con el botón derecho ante los círculos verdes (cambiar) y responder ante cambios en la trayectoria y velocidad de los círculos (ajustar). La tarea se respondió después de dormir 8 horas, línea base (LB), después de una noche de privación total de sueño (PTS) y después de una noche de dormir libremente, recuperación (R). En comparación con la LB y la R, durante la PTS los participantes presentaron una menor eficiencia para continuar ($p < 0.001$), detener ($p < 0.001$), cambiar ($p < 0.001$) y ajustar sus respuestas ($p < 0.001$). La retroalimentación externa aumentó la eficiencia en la capacidad para detener, tanto en la LB ($p < 0.01$), la PTS ($p < 0.01$) y la R ($p < 0.05$). Sin embargo, la retroalimentación externa aumentó la eficiencia en las capacidades para continuar, cambiar y ajustar, en LB (continuar: $p < 0.001$; cambiar: $p < 0.01$; ajustar: $p < 0.001$) y R (continuar: $p < 0.05$; cambiar: $p < 0.05$; ajustar: $p < 0.001$), pero no tuvo efecto durante la PTS (continuar: $p = \text{NS}$; cambiar: $p = \text{NS}$; ajustar: $p = \text{NS}$). La retroalimentación correcta de aciertos se redujo durante la PTS en las capacidades para continuar ($F = 5.99$, $p < 0.01$), detener ($F = 5.68$, $p < 0.01$) y cambiar las respuestas ($F = 4.95$, $p < 0.05$), en comparación con la LB y la R. La retroalimentación correcta de errores aumentó durante la PTS en las capacidades para continuar ($F = 5.71$, $p < 0.01$) y cambiar ($F = 6.12$, $p < 0.05$), pero no en la capacidad para detener ($F = 1.38$, $p = \text{NS}$). En conclusión, los componentes de modificación, detección y comparación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas presentan variaciones homeostáticas. Esto implica que el sueño es un estado fisiológico esencial en la capacidad de los humanos tanto para modificar sus respuestas como para detectar y comparar el efecto de sus respuestas con un objetivo determinado.

Palabras clave: Privación total de sueño, funciones ejecutivas, retroalimentación

ABSTRACT

Total sleep deprivation studies reported that executive functions show homeostatic variations. However, these studies define executive functions as psychological processes. It is necessary to analyze the homeostatic variations of executive functions based on a theoretical model of these functions as brain processes. The aim of this thesis was to determine the existence of homeostatic variations in the components of the regulatory mechanism of executive functions. Participants were twenty undergraduate students with a mean age of 19.20 ± 1.94 years; 13 were women and 7 were men. A computerized tracking task was used where colored circles appeared in the computer monitor. Participants responded to the task under three conditions: no feedback (NF), external feedback (EF), and immediate verbal feedback (VF). In all conditions, participants had to click the left mouse button for black circles (continue), not respond to red circles (stop), click the right button for green circles (change), and respond after changes in the trajectory of circles (adjust). Participants performed the task after 8 hours of sleep (baseline, BL), after one night of total sleep deprivation (TSD), and after one night of free sleep (recovery, R). Compared to BL and R, performance during TSD was lower when participants had to continue ($p < 0.001$), stop ($p < 0.001$), change ($p < 0.001$), and adjust ($p < 0.001$) their responses. External feedback improved the capacity to stop during BL ($p < 0.01$), TSD ($p < 0.01$), and R ($p < 0.05$). However, external feedback improved the capacities to continue, change and adjust during BL (continue: $p < 0.001$; change: $p < 0.01$; adjust: $p < 0.001$) and R (continue: $p < 0.05$; change: $p < 0.05$; adjust: $p < 0.001$), but not during TSD (continue: $p = \text{NS}$; switch: $p = \text{NS}$; adjust: $p = \text{NS}$). Correct verbal feedback for correct trials decreased during TSD in the capacities to continue ($F = 5.99$, $p < 0.01$), stop ($F = 5.68$, $p < 0.01$), and change responses ($F = 4.95$, $p < 0.05$), compared to BL and R. Correct verbal feedback for error trials increased during TSD in the capacities to continue ($F = 5.71$, $p < 0.01$) and change ($F = 6.12$, $p < 0.05$), but not in the capacity to stop ($F = 1.38$, $p = \text{NS}$). In conclusion, the components of modification, detection and comparison of the regulatory mechanism of executive functions present homeostatic variations. This implies that sleep is a fundamental physiological state to brain processes such as the detection, comparison and modification of responses.

Key words: Total sleep deprivation, executive functions, feedback

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del Problema.....	2
Justificación de la Investigación	4
II. MARCO TEÓRICO	5
Ciclo de vigilia-sueño.....	5
Mecanismo circadiano del ciclo de vigilia-sueño.....	5
Mecanismo homeostático del ciclo de vigilia-sueño.....	6
Efectos de la privación total de sueño en la ejecución cognoscitiva.....	8
Efectos de la privación total de sueño en los procesos cognoscitivos.....	8
Atención	8
Memoria de trabajo	9
Funciones ejecutivas.....	11
Modelo de las funciones ejecutivas	12
Antecedentes de los efectos de la privación total de sueño en los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas	19
Continuar	19
Detener	20
Cambiar	22
Ajustar	23
Retroalimentación externa	24
Retroalimentación verbal inmediata	24
Objetivos.....	26
Objetivo General	26

Objetivos Específicos.....	27
Hipótesis.....	27
Limitaciones y Delimitaciones.....	28
III. MÉTODO	30
Diseño	30
Participantes.....	30
Instrumentos.....	31
Cuestionarios	31
Materiales	33
Tarea.....	33
Procedimiento.....	39
Análisis de datos.....	41
Consideraciones éticas.....	43
IV. RESULTADOS	44
Hábitos del dormir.....	44
Parámetros del ciclo de vigilia-sueño	45
Somnolencia y cansancio	47
Matutinidad-vespertinidad.....	48
Mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas	49
Modificación	51
Detección y Comparación	54
V. DISCUSIÓN	65
Efectos de la privación total de sueño en el componente de modificación	65
Efectos de la privación total de sueño en el componente de detección y comparación	68
Retroalimentación externa	68

Retroalimentación verbal inmediata	71
Implicaciones	74
VI. CONCLUSIONES	78
VI. REFERENCIAS	80
VII. ANEXOS.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación del inicio, terminación y duración del dormir entre los días de entre semana y fin de semana del cuestionario de hábitos del dormir	45
Tabla 2. Comparación del inicio, terminación y duración del dormir entre las condiciones de sincronización, entrenamiento, línea base y recuperación	46
Tabla 3. Escalas analógicas de somnolencia y cansancio	48
Tabla 4. Cuestionario de matutinidad-vespertinidad	49
Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas del modelo general lineal (GLM) para los factores principales y su interacción	50
Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Comparaciones post hoc entre las condiciones de sueño de la sección sin retroalimentación.	52
Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Comparaciones post hoc entre las secciones sin retroalimentación y con retroalimentación externa	55
Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Comparaciones post hoc entre las condiciones de sueño de la retroalimentación verbal inmediata	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mecanismos de programación y regulación de las funciones ejecutivas.	12
Figura 2. Tarea de seguimiento modificada	36
Figura 3. Indicadores de la teoría de detección de señales	38
Figura 4. Indicadores de la retroalimentación verbal inmediata	39
Figura 5. Protocolo de privación total de sueño.	40
Figura 6. Duración del dormir de los participantes en los días de entre semana y fin de semana del cuestionario de hábitos del dormir	45
Figura 7. Ciclo de vigilia-sueño de los participantes durante las condiciones del protocolo de privación total de sueño.	47
Figura 8. Comparación de la somnolencia y el cansancio entre las condiciones del protocolo de privación total de sueño.....	48
Figura 9. Comparación entre las condiciones de sueño de todos los tipos de modificación de respuesta durante la sección sin retroalimentación.....	53
Figura 10. Comparación entre la sección sin retroalimentación y con retroalimentación externa en la capacidad de continuar durante cada condición de sueño.	56
Figura 11. Comparación entre la sección sin retroalimentación y con retroalimentación externa en la capacidad de detener durante cada condición de sueño.....	57
Figura 12. Comparación entre la sección sin retroalimentación y con retroalimentación externa en la capacidad de cambiar durante cada condición de sueño.	58
Figura 13. Comparación entre la sección sin retroalimentación y con retroalimentación externa en la capacidad de ajustar durante cada condición de sueño.	59
Figura 14. Indicadores de la retroalimentación verbal inmediata en la capacidad de continuar durante cada condición de sueño.....	62
Figura 15. Indicadores de la retroalimentación verbal inmediata en la capacidad de detener durante cada condición de sueño.	63
Figura 16. Indicadores de la retroalimentación verbal inmediata en la capacidad de cambiar durante cada condición de sueño.....	64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Carta de información acerca de la investigación	102
Anexo 2. Carta de consentimiento informado para participantes	103
Anexo 3. Carta de consentimiento informado para padres.....	104
Anexo 4. Cuestionario de datos generales	105
Anexo 5. Cuestionario de trastornos del dormir	107
Anexo 6. Cuestionario de hábitos del dormir	108
Anexo 7. Diario del dormir	110
Anexo 8. Escalas analógicas de somnolencia y cansancio.....	111
Anexo 9. Cuestionario de matutinidad-vespertinidad	112
Anexo 10. Hoja de registro para la sección de retroalimentación verbal inmediata de la tarea de seguimiento modificada.	118

I. INTRODUCCIÓN

El sueño es un estado fisiológico en el que las personas disminuyen su actividad motora y se reducen sus respuestas al ambiente. El sueño se alterna con periodos de vigilia (estar despierto). A diferencia del sueño, la vigilia se caracteriza por un aumento en el tono muscular y es el estado en el que las personas desarrollan diversas actividades como estudiar o trabajar. El sueño y la vigilia conforman un ritmo circadiano que oscila con un período de aproximadamente 24 horas (Kleitman, 1960).

Adicionalmente, el ciclo de vigilia-sueño constituye un proceso homeostático debido a que la presión por dormir aumenta progresivamente durante la vigilia y disminuye durante el sueño. De acuerdo con lo anterior, se ha propuesto que el sueño favorece la recuperación en las funciones del organismo tras la acumulación de horas que una persona pasa en vigilia (Borbély & Achermann, 1999).

Una pregunta básica acerca del sueño es cuánto tiempo requieren dormir las personas diariamente. La Sociedad de Medicina del Sueño propone que los adultos requieren dormir más de 7 horas diarias (Watson et al., 2015). Diversos estudios han demostrado que reducir las horas de sueño o permanecer despierto durante una noche completa disminuye la eficiencia en la ejecución cognoscitiva de las personas durante la vigilia (Killgore & Weber, 2014). En base a lo anterior, se ha propuesto que la ejecución de las personas presenta variaciones homeostáticas, es decir, la eficiencia de las respuestas en tareas cognoscitivas cambia en función de la acumulación de horas en vigilia (Borbély & Achermann, 1999). La ejecución depende del funcionamiento cerebral por lo que es importante identificar las variaciones homeostáticas en la ejecución, pero también en los procesos cognoscitivos y

cerebrales del ser humano. Se ha propuesto que la eficiencia en todas las actividades humanas depende del funcionamiento de los componentes cerebrales que subyacen estos procesos cognoscitivos (Valdez, 2019b).

Una forma de determinar las variaciones homeostáticas en los procesos cognoscitivos consiste en restringir el sueño de las personas durante 24 horas, una condición que se denomina privación total de sueño (Van Dongen et al., 2003). La privación total de sueño reduce la eficiencia de los componentes psicológicos de diversos procesos cognoscitivos como la atención, la memoria de trabajo y las funciones ejecutivas (Cao et al., 2025; Dai et al., 2020; García et al., 2021; Pesoli et al., 2022). Sin embargo, es importante analizar el efecto de la privación total de sueño sobre los componentes cerebrales que subyacen a estos procesos cognoscitivos.

Planteamiento del Problema

Los procesos cognoscitivos se han estudiado principalmente como procesos psicológicos. Un ejemplo es la atención que desde una perspectiva psicológica se definió como la focalización y concentración de la conciencia (James, 1890). En cambio, otros autores han planteado la necesidad de describir la atención como un proceso cerebral, lo que se puede hacer describiendo los mecanismos cerebrales involucrados en las operaciones de este proceso (Posner et al., 1987). Con base en lo anterior, estos autores definieron la atención como la capacidad para responder al ambiente y plantearon que se puede dividir en cuatro componentes: alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva y atención sostenida. (Posner & Rafal, 1987; Valdez et al., 2005). De acuerdo con esta propuesta teórica, se han diseñado tareas

neuropsicológicas específicas que incluyen índices de cada componente de la atención que pretenden medir esta función como un proceso cerebral (Valdez, 2019a).

Congruente con este planteamiento, se ha encontrado que lesiones en el sistema reticular y el sistema prefrontal producen dificultades en diferentes componentes de la atención (Moruzzi & Magoun, 1949).

Las funciones ejecutivas también se han definido como los procesos psicológicos cruciales para el comportamiento dirigido a metas (Lezak, 1982). De hecho, se han propuesto múltiples componentes psicológicos de las funciones ejecutivas como: iniciativa, planeación, inhibición, flexibilidad, automonitoreo, entre otros (Packwood et al., 2011). Por el contrario, Luria y Pribram (1973) describieron estas funciones como procesos cerebrales a partir del análisis funcional de pacientes con lesiones en el lóbulo frontal. Luria planteó que el funcionamiento de los lóbulos frontales se vincula con la programación y la regulación del comportamiento (Luria, 1966), debido a que los pacientes con lesiones cerebrales en estas áreas presentan dificultades para producir respuestas con un propósito determinado, detectar sus errores o modificar sus respuestas (Pribram & Luria, 1973). Es necesario estudiar las funciones ejecutivas utilizando un modelo teórico que caracterice estas funciones como procesos cerebrales, que describa de forma concreta sus componentes y que explique sus operaciones. Se ha propuesto que la descripción de los mecanismos de programación y regulación de otros sistemas biológicos como el sistema endocrino, el sistema cardiovascular y el sistema motor pueden utilizarse para describir los procesos cognoscitivos (Pezzulo & Cisek, 2016), por lo que es posible usar estas descripciones con el propósito de definir y estudiar las funciones ejecutivas como procesos

cerebrales. En síntesis, esta tesis plantea que los modelos actuales de las funciones ejecutivas se basan en procesos psicológicos, por lo que es importante analizar estas funciones como procesos cerebrales.

Justificación de la Investigación

Diversos estudios han analizado los efectos de la privación total de sueño sobre las funciones ejecutivas tomadas como procesos psicológicos. Estos estudios han reportado evidencia de que la privación total de sueño reduce la eficiencia de tres componentes psicológicos de las funciones ejecutivas: inhibición, flexibilidad y automonitoreo (Choong et al., 2025; García et al., 2016; Sun et al., 2025). Sin embargo, es fundamental estudiar los efectos de la privación total de sueño utilizando un modelo de las funciones ejecutivas que se base en el funcionamiento cerebral. Un modelo que permita plantear los mecanismos cerebrales que subyacen estas funciones, así como diseñar las tareas neuropsicológicas apropiadas para medir sus componentes. Esta tesis pretende diseñar una tarea adecuada para medir las funciones ejecutivas, así como los índices apropiados para medir los componentes específicos de estas funciones y sus mecanismos. Además, la presente tesis pretende determinar los efectos de la privación total de sueño sobre los componentes cerebrales específicos de las funciones ejecutivas.

II. MARCO TEÓRICO

El presente trabajo pretende determinar los efectos de la privación total de sueño en los componentes de las funciones ejecutivas. Esto implica describir las características del ciclo de vigilia-sueño, los mecanismos involucrados en la regulación del sueño y su interacción con los procesos cognoscitivos. También es necesario presentar el modelo de las funciones ejecutivas que se utilizará en este estudio y la evidencia que existe de los efectos de la privación total de sueño en estas funciones.

Ciclo de vigilia-sueño

Los seres vivos pasan su vida alternando entre dos estados fisiológicos: la vigilia y el sueño. La vigilia se caracteriza por el aumento en la actividad motora y los niveles de alerta. El sueño se caracteriza por la disminución en el tono muscular, la temperatura corporal y la frecuencia cardíaca. La vigilia y el sueño se alternan en un periodo de aproximadamente 24 horas, constituyendo así un ciclo que se denomina ciclo de vigilia-sueño. Borbély (1982; 2016) propuso que el ciclo de vigilia-sueño es regulado por la interacción entre dos mecanismos: el mecanismo circadiano y el mecanismo homeostático.

Mecanismo circadiano del ciclo de vigilia-sueño

El mecanismo circadiano se refiere a las variaciones que se presentan en la mayoría de las actividades fisiológicas en un periodo de 24 horas. Un ejemplo de una actividad fisiológica que presenta variaciones circadianas es la temperatura corporal, ya que presenta cambios en un periodo de 24 horas alcanzando sus niveles más altos

durante la tarde y los más bajos durante la noche. Por otro lado, la secreción de melatonina presenta sus niveles más altos durante la noche y los más bajos durante el día (Brzezinski, 1997). En el ciclo de vigilia-sueño, el mecanismo circadiano produce un aumento de los niveles de alerta durante el día y su reducción durante la noche (Czeisler et al., 1999). El núcleo supraquiasmático del hipotálamo produce estas variaciones circadianas tanto en el ciclo de vigilia-sueño como en el resto de las funciones del organismo. Ralph et al. (1990) demostraron este fenómeno al lesionar el núcleo supraquiasmático del hipotálamo de hámsters, lo que provocó la eliminación de las variaciones circadianas en estos animales. Luego, trasplantaron tejido del núcleo supraquiasmático de hámsters mutantes con un periodo circadiano distinto a los hámsters con lesiones en dicha área cerebral. Los hámsters volvieron a presentar variaciones circadianas, pero con el periodo de los donadores, lo que demostró que el núcleo supraquiasmático del hipotálamo era la estructura cerebral principal en el mecanismo circadiano. En esta tesis no se analizará el mecanismo circadiano del ciclo de vigilia-sueño.

Mecanismo homeostático del ciclo de vigilia-sueño

El mecanismo homeostático del ciclo de vigilia-sueño se refiere a las variaciones que se presentan en las actividades fisiológicas por la acumulación del tiempo en vigilia. Estas variaciones se han observado en el aumento del rendimiento de las personas en diferentes actividades durante las primeras horas en vigilia y la reducción progresiva que se presenta a medida que avanza el día (Valdez, 2019b). Si las personas se mantienen despiertas por más horas, la presión de sueño aumenta

progresivamente. Los estudios de privación de sueño demostraron la existencia de variaciones homeostáticas en diferentes actividades fisiológicas como la actividad eléctrica del cerebro y la ejecución de las personas en tareas cognoscitivas (Borbély, 1982). Inicialmente se propuso que las variaciones homeostáticas en la ejecución eran causadas debido a que la privación de sueño reduce la actividad de las regiones cerebrales vinculadas con los niveles de alerta (Alhola & Polo-Kantola, 2007).

Posteriormente, se planteó que la privación de sueño afecta el funcionamiento de áreas cerebrales específicas lo que produce las variaciones homeostáticas que se observan en diversos aspectos de la ejecución de las personas como la eficiencia o la velocidad de respuesta (Babkoff et al., 2005). De forma específica, Horne (1993) propuso que la privación de sueño reduce principalmente la actividad de la corteza prefrontal del cerebro y el tálamo, lo que a su vez produce las variaciones homeostáticas en las funciones que dependen del funcionamiento de estas regiones cerebrales. El presente trabajo se enfocará en el análisis del mecanismo homeostático del sueño. Este mecanismo se puede analizar mediante dos protocolos de restricción de sueño: los protocolos de privación parcial de sueño y los protocolos de privación total de sueño. Estos protocolos pretenden analizar las variaciones homeostáticas de diferentes estados fisiológicos como la actividad eléctrica del cerebro (Borbély et al., 1981) o la eficiencia de la ejecución cognoscitiva de las personas en diferentes actividades (Killgore, 2010). Los protocolos de privación parcial de sueño consisten en restringir la cantidad de horas de sueño de los participantes durante varias noches consecutivas, generalmente en un rango de 2 a 4 horas por noche (Banks & Dinges, 2007). Los protocolos de privación total de sueño implican mantener a los participantes despiertos

de forma continua en las instalaciones del laboratorio, durante un periodo de 24 a 72 horas (Durmer & Dinges, 2005).

Efectos de la privación total de sueño en la ejecución cognoscitiva

La privación total de sueño reduce la eficiencia de las personas para llevar a cabo tareas que evalúan habilidades visomotoras, velocidad de las respuestas, comprensión verbal y resolución de problemas matemáticos (Dorrian et al., 2005; Drummond & Brown, 2001; Kim et al., 2001). Se ha propuesto que los efectos de la privación total de sueño en la ejecución de estas tareas se deben a las variaciones homeostáticas en procesos cognoscitivos básicos como la atención, la memoria de trabajo y las funciones ejecutivas (Valdez, 2019b). Por lo tanto, es importante analizar los efectos de la privación total de sueño en estos procesos cognoscitivos y sus componentes.

Efectos de la privación total de sueño en los procesos cognoscitivos

Atención

La atención se refiere a la capacidad que tienen los humanos para responder al ambiente y se puede dividir en cuatro componentes: alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva y atención sostenida (Valdez, 2019a). Alerta tónica se refiere a la capacidad de responder ante cualquier estímulo en el ambiente. Esta capacidad se relaciona con la activación general del organismo. La alerta fásica se refiere a la capacidad de responder ante un estímulo después de una señal de aviso. Esta capacidad es crucial para preparar las respuestas ante cualquier señal del ambiente.

Se ha demostrado que las lesiones en las vías ascendentes de la formación reticular del cerebro reducen los componentes de alerta tónica y alerta fásica tanto en humanos como en otras especies (Moruzzi & Magoun, 1949; Posner, 2008). Por otro lado, la atención selectiva se refiere a la capacidad de producir respuestas específicas ante estímulos específicos. Esta capacidad es fundamental para dar una respuesta específica filtrando la información irrelevante del ambiente. La atención sostenida se refiere a la capacidad de mantener un nivel eficiente de respuesta a lo largo del tiempo. Esta capacidad es crucial para mantener un nivel óptimo de respuesta en actividades con una duración prolongada. Se ha encontrado que la atención selectiva y la atención sostenida dependen de las conexiones entre la corteza prefrontal y la corteza parietal del cerebro (Petersen & Posner, 2012). Se ha encontrado que la privación total de sueño reduce los componentes de alerta tónica y alerta fásica al analizar la ejecución de las personas en tareas de tiempo de reacción y tareas de vigilancia (Martella et al., 2011; Roca et al., 2012). Por otro lado, se ha reportado que la privación total de sueño tiene un efecto en la atención selectiva a partir de la disminución en la eficiencia de los participantes para responder ante estímulos específicos en tareas de ejecución continua. Además, la privación total de sueño reduce la atención sostenida, esto se observa en el aumento en la variabilidad de la eficiencia y los tiempos de reacción ante los estímulos que se presentan durante toda la tarea (García et al., 2021; Sagaspe et al., 2006).

Memoria de trabajo

La memoria de trabajo se refiere a la capacidad para almacenar y utilizar

información por periodos breves de tiempo (Baddeley & Hitch, 1974). La memoria de trabajo es un proceso que incluye cuatro componentes: fonológico, visoespacial, ejecutivo y episódico. En este trabajo solamente se revisarán el componente fonológico y el componente visoespacial de la memoria de trabajo, ya que los otros dos componentes se relacionan con otros procesos cognoscitivos diferentes de la memoria (Hitch et al., 2025). El componente fonológico se refiere a la capacidad para almacenar y utilizar la información verbal y depende del funcionamiento de la corteza del lóbulo temporal izquierdo. Esta capacidad es crucial para llevar a cabo actividades de comprensión lectora, escritura y seguir instrucciones verbales. El componente visoespacial se refiere a la capacidad para almacenar y utilizar la información visual y depende de la corteza parieto-occipital (Müller & Knight, 2006; Smith & Jonides, 1998). Esta capacidad es importante para llevar a cabo actividades relacionadas con la orientación espacial y con la solución de problemas matemáticos. Se ha encontrado que la privación de sueño por 42 horas reduce el componente fonológico en una tarea de reconocimiento continuo (en inglés: "continuous recognition test") en la que se requería almacenar y evocar letras que aparecían en un monitor de computadora (Turner et al., 2007). Por otro lado, la privación total de sueño reduce la eficiencia del componente visoespacial en una tarea de memoria de trabajo que consiste en la presentación consecutiva de dos estímulos en diferentes lugares de la pantalla y en la cual los participantes deben identificar el lugar en la pantalla en el que se presentó el estímulo anterior de forma continua (Ramirez et al., 2006).

Funciones ejecutivas

Luria y Pribram (1973) estudiaron los efectos de las lesiones en la corteza frontal del cerebro, tanto en humanos como en otras especies. En base a los resultados de sus estudios propusieron que el funcionamiento de esta área cerebral se relaciona con las capacidades de programación y regulación del comportamiento. Sin embargo, los estudios posteriores sobre estas capacidades no retomaron la propuesta de Luria y Pribram. En cambio, Lezak (1982) propuso el término “funciones ejecutivas” para referirse a las capacidades de la corteza frontal, pero se basó en la Psicología del Pensamiento y la Psicología Cognoscitiva, para definirlas como los procesos psicológicos necesarios para formular metas, planear, ejecutar, y llevar a cabo un plan de forma eficiente. De forma similar, Zelazo (1997) propuso una descripción de las funciones ejecutivas basado en un modelo de resolución de problemas que incluye procesos psicológicos como representación de un problema, planeación, ejecución y evaluación. Norman y Shallice (1986) propusieron un modelo del procesamiento de la información en el que se incluye un sistema supervisor atencional relacionado con el funcionamiento de la corteza frontal de los humanos, que se encarga de planear acciones futuras, tomar decisiones y responder ante estímulos novedosos. Por otro lado, Stuss y Benson (1984) argumentaron que era necesario fraccionar las funciones de la corteza frontal en diferentes componentes. Posteriormente, se han propuesto diversos componentes de las funciones ejecutivas basados en procesos psicológicos como iniciativa, planeación, previsión, anticipación, inhibición cognoscitiva, flexibilidad cognoscitiva, automonitoreo, actualización, resolución de problemas, autorregulación, toma de decisiones y control cognitivo (Braver et al., 2009; Diamond, 2013; Fuster,

2002; Godefroy, 2003; Miyake et al., 2000; Stuss, 2011; Valdez et al., 2012).

Modelo de las funciones ejecutivas

El modelo de las funciones ejecutivas que se utilizó en este trabajo se divide en dos mecanismos cerebrales: el mecanismo de programación y el mecanismo de regulación (Figura 1). Estos mecanismos de las funciones ejecutivas se basan en los componentes de los mecanismos de anteroalimentación y retroalimentación de la teoría de control, debido a su rol en la programación y regulación en el funcionamiento de los sistemas mecánicos y los sistemas biológicos. Por lo tanto, en este modelo se describen diferentes componentes de las funciones ejecutivas a los propuestos por otros autores desde la Psicología.

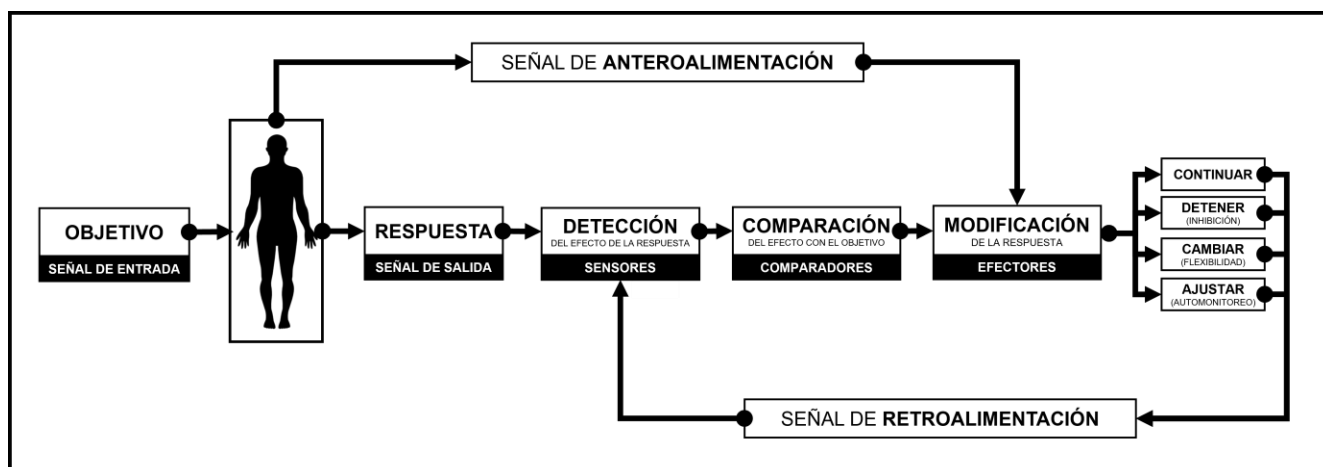


Figura 1. Mecanismos de programación y regulación de las funciones ejecutivas.

El mecanismo de programación de las funciones ejecutivas se refiere a las capacidades que tienen los humanos para activar y preactivar su comportamiento hacia objetivos determinados. Este mecanismo se puede dividir en dos componentes:

dirección y preactivación. El componente de dirección se refiere a la capacidad de los humanos de responder en función de objetivos ambientales, fisiológicos, sociales o personales. Esta capacidad es crucial para cumplir con una instrucción específica o ejecutar respuestas para cumplir un objetivo. Las personas son capaces de organizar sus actividades como vestirse, preparar sus pertenencias y desplazarse a un lugar con el objetivo de cumplir un compromiso social, como asistir a la escuela o el trabajo. El componente de preactivación se refiere a la capacidad de los humanos de preparar sus respuestas en función de objetivos ambientales, fisiológicos, sociales o personales. Esta capacidad es fundamental para preparar las respuestas hacia un objetivo predeterminado. Por ejemplo, un conductor es capaz de frenar progresivamente antes de tomar una curva en la carretera para evitar algún accidente automovilístico y cumplir el objetivo de continuar manejando a su destino. Las lesiones en la corteza dorsolateral prefrontal, los núcleos del cuerpo estriado y el cerebelo reducen la eficiencia de los componentes del mecanismo de programación de las funciones ejecutivas (Miller & Cohen, 2001a; Monchi et al., 2006; Pisotta & Molinari, 2014). Estos componentes se proponen en base a los mecanismos de anteroalimentación que se han descrito en otras actividades fisiológicas y que implican la preactivación de las respuestas hacia objetivos específicos (Hebb, 1949; Wiener, 2019). En esta tesis no se analizarán los componentes del mecanismo de programación de las funciones ejecutivas.

El mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas se refiere a las capacidades que tienen los humanos para detectar, comparar y modificar su comportamiento. Este mecanismo se puede dividir en tres componentes: detección, comparación y modificación. Estos componentes se proponen con base en los

componentes de los mecanismos de retroalimentación positiva y negativa descritos en los sistemas mecánicos y biológicos. La interacción de estos componentes permite que los organismos modifiquen de forma continua su comportamiento hasta cumplir un objetivo específico.

El componente de detección se refiere a la capacidad de detectar la retroalimentación que producen las respuestas (Greenwald, 1970). El funcionamiento del componente de detección es similar a las funciones de un sensor en el mecanismo de retroalimentación de un sistema mecánico, en donde los sensores monitorean el comportamiento del sistema y sus cambios produciendo señales de retroalimentación (Mayr, 1970). Por otro lado, el componente de comparación se refiere a la capacidad de comparar la retroalimentación de las respuestas con un objetivo determinado. Las lesiones en la corteza cingulada anterior y la corteza medial prefrontal afectan la capacidad de los humanos para detectar y comparar las consecuencias de sus respuestas (Luu et al., 2000). Los componentes de detección y comparación se pueden medir a partir de dos procedimientos: la retroalimentación externa y la retroalimentación verbal inmediata. La retroalimentación externa se refiere a la presentación de un estímulo que indica el efecto o las consecuencias de una respuesta anterior en relación con un objetivo o instrucción (Mangiapanello & Hemmes, 2015). Se ha vinculado la presentación de retroalimentación externa con la activación de áreas mediales prefrontales, en particular la corteza cingulada anterior (Ferdinand & Opitz, 2014; Holroyd & Coles, 2002; Luft, 2014). Los efectos de la retroalimentación externa han sido principalmente estudiados en la motivación (Deci et al., 1999) y el aprendizaje (Goodman & Wood, 2004; Wulf et al., 2010). Además, se ha observado que la

retroalimentación externa aumenta la eficiencia general de las respuestas en tareas de memoria y resolución de problemas (Adam & Vogel, 2018; Lis et al., 2005; Maddox et al., 2003). El indicador principal de estas tareas es la diferencia entre la ejecución de los participantes en condiciones sin retroalimentación y con retroalimentación externa. Durante la condición de retroalimentación externa, la persona debe detectar los estímulos que le indican si su respuesta coincide o no con el objetivo de la tarea (retroalimentación inmediata) y a su vez comparar esta información con el efecto de sus propias respuestas (retroalimentación mediata).

Otra forma de medir los componentes de detección y comparación es a partir de la retroalimentación verbal inmediata. En este procedimiento, el evaluador indica al sujeto que responda ante diferentes estímulos durante una tarea neuropsicológica y que, inmediatamente después de cada respuesta, exprese verbalmente si su respuesta fue correcta o incorrecta. El indicador principal de la retroalimentación verbal inmediata es la eficiencia a lo largo de la tarea en la suma de la retroalimentación correcta de aciertos (aciertos en los que el participante indicó verbalmente como respuestas correctas) y la retroalimentación correcta de errores (errores en los que el participante indicó verbalmente como respuestas incorrectas). Durante la condición de retroalimentación verbal inmediata, la persona debe detectar la emisión de sus respuestas (retroalimentación inmediata), comparar si sus respuestas coinciden o no con el objetivo de la tarea (retroalimentación mediata) y emitir una respuesta verbal indicando si sus respuestas son correctas o incorrectas (retroalimentación verbal). La retroalimentación verbal inmediata coincide con el planteamiento teórico propuesto en el modelo de las funciones ejecutivas descrito en este trabajo, por lo que se utilizará

como una medición de los componentes de detección y comparación de las funciones ejecutivas.

Es importante señalar que la retroalimentación verbal inmediata que se utiliza en este estudio es diferente del informe acerca del rendimiento que se ha utilizado en otros estudios. Este último consiste en la aplicación de escalas al finalizar el bloque de una tarea en las que los participantes deben estimar el porcentaje de respuestas correctas que consideran haber obtenido durante toda la actividad. El indicador principal que se utiliza en estos estudios es la comparación entre la evaluación subjetiva y la ejecución real durante la actividad (Baranski et al., 1994; Dorrian et al., 2005; Nishimura et al., 2025). El informe acerca del rendimiento que utilizan en los estudios anteriormente mencionados presenta limitaciones importantes ya que depende principalmente del juicio subjetivo que la persona hace acerca de su desempeño global al finalizar la tarea. Por esta razón, no puede considerarse una medida precisa de la detección del efecto de las propias respuestas, a diferencia de la retroalimentación verbal inmediata que permite medir esta capacidad ante cada estímulo. En conjunto, la retroalimentación externa y la retroalimentación verbal inmediata permiten evaluar la capacidad de los humanos para detectar sus propias respuestas y comparar su efecto con un objetivo. La retroalimentación externa permite comparar la eficiencia de las respuestas con y sin información adicional sobre sus efectos y la retroalimentación verbal inmediata permite medir la detección y comparación de los efectos de las propias respuestas con un objetivo en tiempo real.

El componente de modificación se puede describir en base a diferentes tipos de modificación de respuesta: continuar, detener, cambiar y ajustar. Una forma de medir el

componente de modificación es utilizando una tarea en la que las personas deban modificar sus respuestas (continuar, detener, cambiar o ajustar) ante diferentes tipos de estímulos en una tarea neuropsicológica. De forma específica, la capacidad de continuar es crucial para ejecutar el mismo tipo de respuesta que se llevó a cabo anteriormente cuando coincide con el objetivo preestablecido. Por ejemplo, una persona es capaz de esperar ante la luz roja de un semáforo peatonal y continuar su marcha ante la luz verde, con el fin de cumplir el objetivo de cruzar la calle. Se ha encontrado que las lesiones en la vía directa de los núcleos del cuerpo estriado que incluye el globo pálido, la sustancia negra y el circuito tálamo-cortical afectan esta capacidad (Albin et al., 1989). La vía directa del cuerpo estriado va desde las neuronas del cuerpo estriado medio las cuales se proyectan hacia la sustancia nigra y el globo pálido. Consecuentemente, la inhibición de la sustancia nigra provoca la desinhibición de las neuronas talámicas, las cuales estimulan las cortezas cerebrales motoras dando como resultado la continuación de las respuestas (Calabresi et al., 2014). La capacidad de detener las respuestas es esencial en situaciones en las que se requiere detener por completo las respuestas cuando no coinciden con el objetivo preestablecido. Si una persona tiene el objetivo de llegar al otro lado de la calle, es capaz de detener sus acciones cuando el tráfico de automóviles le impide cumplir este objetivo. Este tipo de modificación constituye la base cerebral del proceso psicológico de inhibición cognoscitiva. Las lesiones en la vía indirecta del cuerpo estriado, la corteza frontal inferior derecha y la corteza motora suplementaria provocan una reducción en la capacidad de detener las respuestas (Aron, 2007; Li & Jin, 2023; Nigg, 2000). En la vía indirecta del cuerpo estriado, las neuronas del cuerpo estriado se proyectan hacia la

sustancia nigra a través del globo pálido y el núcleo subtalámico, lo cual inhibe las neuronas del globo pálido y desinhibe las neuronas del núcleo subtalámico. La activación de las neuronas del núcleo subtalámico estimula las neuronas de la sustancia nigra que se proyectan hacia el tálamo, dando como resultado la cesación de las respuestas (Calabresi et al., 2014). La capacidad de cambiar las respuestas es fundamental en situaciones en las que se requiere que las personas ejecuten una respuesta diferente cuando las respuestas anteriores no coinciden con el objetivo preestablecido. Una persona es capaz de detenerse y cambiar la ruta que estaba siguiendo ante una manifestación que bloquea la avenida que conduce a su escuela o lugar de trabajo. Este tipo de modificación constituye la base cerebral del proceso psicológico de flexibilidad cognoscitiva. Se ha reportado que las lesiones en las conexiones del área dorsolateral de la corteza prefrontal y las vías directas e indirectas del cuerpo estriado reducen la eficiencia de esta capacidad (Bell et al., 2019; Robbins, 2007). La capacidad de ajustar las respuestas es crucial en situaciones en las que se requiere cambiar el nivel de la intensidad, la velocidad o la trayectoria de las respuestas cuando las respuestas anteriores no coinciden con el objetivo preestablecido. Un conductor es capaz de ajustar la trayectoria y velocidad de su coche a partir de la información propioceptiva producida por las vibraciones del vehículo al transitar por un camino sin pavimentar. Este tipo de modificación constituye la base cerebral del proceso psicológico de automonitoreo. La capacidad de ajustar las respuestas se ha vinculado con el funcionamiento del área dorsolateral de la corteza prefrontal, la corteza cingulada anterior y el núcleo subtalámico (Ridderinkhof et al., 2004; Ullsperger et al., 2014).

El presente trabajo pretende analizar los efectos de la privación total de sueño sobre los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. Esto implica analizar los efectos de la privación total de sueño en el componente de modificación (continuar, detener, cambiar y ajustar las respuestas), así como en el componente de detección y comparación, a partir de la retroalimentación tanto externa como verbal.

Antecedentes de los efectos de la privación total de sueño en los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas

Continuar

Diversos estudios han reportado que la privación total de sueño disminuye la eficiencia en las respuestas en las tareas de respuesta/no-respuesta (en inglés: “go/no-go”). En estas tareas los participantes deben responder ante ciertos estímulos y no responder ante otros que aparecen con menor frecuencia. De acuerdo con el modelo de las funciones ejecutivas que se describe en esta tesis, la reducción en la eficiencia ante los estímulos que requieren de iniciar una respuesta se puede considerar como un indicador de la reducción en la capacidad para continuar las respuestas. Un estudio reportó una reducción en la eficiencia de las respuestas a los estímulos que requieren iniciar una respuesta después de 24 horas de privación de sueño (Mao et al., 2021). En otro estudio no se encontraron diferencias significativas en la eficiencia de las respuestas ante estos estímulos durante la privación de sueño de 24 horas, pero si después de 55 horas de privación de sueño (Drummond et al., 2006). De forma similar, un estudio encontró una reducción el porcentaje de respuestas en las que los

participantes debían continuar sus respuestas después de 36 horas sin dormir (Jin et al., 2015). Por otro lado, diversos estudios de privación total de sueño no reportan los resultados acerca de la eficiencia en los estímulos en los que las personas deben continuar con su respuestas, si no que solamente reportan la eficiencia global durante las tareas de respuesta-no respuesta o el porcentaje de respuestas ante los estímulos en los que no deben responder (Chua et al., 2017; Gosselin et al., 2019). Es necesario determinar los efectos de la privación total de sueño utilizando indicadores específicos para medir la capacidad de continuar con las respuestas.

Detener

Se han analizado los efectos de la privación total de sueño en la capacidad para detener las respuestas con la aplicación de tareas de respuesta-no respuesta y tareas Stroop modificadas. En las tareas de respuesta-no respuesta descritas anteriormente se han utilizado los errores de comisión como indicadores de la capacidad para detener las respuestas, es decir, el porcentaje de respuestas ante un estímulo al que no se debe responder. Un estudio reportó que después de 24 horas de privación de sueño los participantes presentaron un aumento significativo en los errores de comisión comparados con las aplicaciones de línea base y los días de recuperación (Drummond et al., 2006). Otros estudios han encontrado este mismo efecto durante la privación de sueño por 24 horas en el porcentaje de respuestas ante los estímulos en los que los participantes no debían responder (Chuah et al., 2006; Sagaspe et al., 2012). Por el contrario, un estudio no encontró diferencias significativas en el porcentaje de errores de comisión después de la privación de sueño de 36 horas comparado con las

condiciones de línea base y recuperación (Jin et al., 2015). De forma similar, otro estudio tampoco reportó diferencias significativas en dicho indicador después de la privación de sueño de 30 horas (Bocca et al., 2014).

La tarea Stroop modificada consiste en una lámina en la que se presentan palabras impresas en diferentes colores (por ejemplo, la palabra “rojo” impresa en color azul). Esta tarea se divide en dos secciones: una sección congruente y una sección incongruente. En la sección congruente se les indica a los participantes leer todas las palabras impresas en la lámina. En la sección incongruente los participantes deben nombrar el color en el que están impresas las palabras, por lo que, en lugar de leer la palabra, deben detener su respuesta para nombrar el color en el que está impresa la palabra. De acuerdo con el modelo de las funciones ejecutivas descrito en este trabajo, la reducción en la eficiencia de respuesta para nombrar el color en el que están impresas las palabras se puede considerar como un indicador de la reducción en la capacidad para detener las respuestas. Se ha reportado que la privación de sueño reduce la eficiencia de respuesta y aumenta el tiempo de reacción ante los estímulos en los que se debe nombrar el color en el que están impresas las palabras durante la aplicación de tareas Stroop modificadas (García et al., 2021; Lingenfelser et al., 1994; McCarthy & Waters, 1997). Sin embargo, diversos estudios no han encontrado diferencias significativas en este indicador durante la privación total de sueño en comparación con las sesiones de línea base y recuperación (Cain et al., 2011; Gevers et al., 2015; Sagaspe et al., 2006). En conjunto, algunos estudios reportan que la privación total de sueño disminuye la capacidad de detener las respuestas, pero otros no encuentran estos efectos, por lo que la literatura existente no permite establecer

conclusiones definitivas sobre los efectos de la privación total de sueño en esta capacidad.

Cambiar

Se han analizado los efectos de la privación de sueño en la capacidad para cambiar las respuestas utilizando versiones modificadas de la tarea Stroop y la tarea de cambio de respuesta (en inglés: “task switching paradigm”). Algunos estudios han incorporado una sección de criterio cambiante en la tarea Stroop modificada que consiste en alternar entre diferentes respuestas según una indicación previa. Por ejemplo, en algunos ensayos los participantes deben nombrar el color de la tinta de la palabra que se les presenta y en otros leer la palabra. En estos estudios se utiliza el porcentaje de errores en los que es necesario ejecutar una respuesta diferente como indicador de la capacidad para cambiar las respuestas. Se ha documentado que la privación de sueño reduce la capacidad para cambiar las respuestas utilizando versiones modificadas de la tarea Stroop (Grant et al., 2018; O’Hagan et al., 2018; Slama et al., 2018). Sin embargo, otros estudios no han encontrado diferencias significativas en la capacidad para cambiar las respuestas en este tipo de tareas durante la privación total de sueño (García et al., 2021; Pourhassan et al., 2023; Sun et al., 2025). En las tareas de cambio de respuesta los participantes deben alternar sus respuestas entre dos instrucciones de forma continua. Por ejemplo, si se presenta un estímulo “B5”, dependiendo la señal, deben responder si la letra es vocal o consonante, o si el número es par o impar, por lo que la eficiencia y la latencia de respuesta después del cambio de instrucción son considerados como indicadores de la capacidad

para cambiar las respuestas. Se ha reportado que la privación total de sueño reduce la eficiencia para responder tareas de cambio de respuesta (Couyoumdjian et al., 2010; Slama et al., 2018). En general, los estudios mencionados anteriormente han utilizado diferentes versiones de la tarea Stroop modificada y la tarea de cambio de respuesta, sin embargo, los resultados acerca de los efectos de la privación total de sueño sobre la capacidad de cambiar la respuesta son contradictorios y no han permitido establecer un consenso acerca de la relación entre la privación de sueño y esta capacidad.

Ajustar

También se ha encontrado que la privación de sueño por 30 horas disminuye la capacidad de las personas para ajustar las respuestas ante los cambios en el ambiente, una capacidad que se ha denominado como automonitoreo (García et al., 2016). En este estudio se utilizó una tarea de seguimiento modificada en la que los participantes debían seguir los estímulos que se presentan en una pantalla de computadora con el cursor del ratón de la computadora (“mouse”) y ajustar sus respuestas ante los cambios en la trayectoria y la velocidad de los estímulos. Los resultados de este estudio se pueden considerar como evidencia de los efectos de la privación de sueño en la capacidad para ajustar las respuestas que se describe en el presente modelo de las funciones ejecutivas. Sin embargo, el estudio mencionado anteriormente analizó la existencia de variaciones circadianas, por lo que es necesario replicar estos hallazgos en un protocolo de privación total de sueño para determinar la existencia de variaciones homeostáticas en esta forma de modificación de respuesta.

Retroalimentación externa

Se ha reportado que la privación de sueño por 30 horas reduce la eficiencia en la ejecución de una tarea en la que los participantes debían responder a partir de la presentación de retroalimentación externa tras cada ensayo (Honn et al., 2019). Estos autores proponen que la reducción en la ejecución de estas tareas es causada por un fenómeno denominado debilitamiento de la retroalimentación (en inglés: “feedback blunting”), que se refiere a la disminución en la habilidad del individuo para utilizar eficientemente la retroalimentación con el fin de mejorar su ejecución en una actividad (Whitney et al., 2015). Los resultados anteriores son contradictorios a los de otros estudios que han documentado que la retroalimentación externa contrarresta los efectos de la privación total de sueño en la ejecución de participantes en tareas de tiempo de reacción y tareas de vigilancia (Jaśkowski & Włodarczyk, 1997; Roach et al., 2016; Steyvers & Gaillard, 1993). Sin embargo, estos estudios han reportado solamente los indicadores generales de la ejecución de los participantes durante estas tareas. Es necesario determinar los efectos específicos de la privación total de sueño sobre todos los tipos de modificación de respuesta cuando las personas reciben retroalimentación externa inmediata de su ejecución.

Retroalimentación verbal inmediata

Diversos estudios han analizado los efectos de la privación de sueño sobre el juicio de las personas acerca de la eficiencia de sus respuestas durante la ejecución de una tarea. Un estudio no encontró diferencias significativas entre el juicio de las personas y su ejecución durante la privación de sueño (Baranski et al., 1994). De forma similar, se

ha encontrado que el informe acerca del rendimiento coincide con la ejecución real de los participantes después de 60 horas de privación de sueño en tareas de vigilancia (Boardman et al., 2018). Sin embargo, al no ser un informe inmediato acerca de la eficiencia de las respuestas, estas evaluaciones carecen de precisión y no permiten determinar los efectos de la privación total de sueño sobre la detección del efecto de las propias respuestas, sino que registran la evaluación subjetiva que los sujetos elaboraron de su rendimiento pasado. Por el contrario, un estudio utilizó una tarea en la que los participantes debían responder ante diferentes estímulos y presionar una tecla inmediatamente después de su respuesta en caso de cometer un error durante un protocolo de privación total de sueño (Boardman et al., 2024). Este estudio no encontró diferencias significativas en el porcentaje de errores detectados correctamente durante la privación total de sueño en comparación con condiciones normales de sueño. Es necesario identificar si la privación total de sueño afecta tanto la detección de errores como la detección de aciertos, lo que con base en el modelo de las funciones ejecutivas que se utiliza en este estudio, depende de los componentes de detección y comparación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. Además, es importante determinar los efectos de la privación total de sueño en estos tipos de detección cuando las personas deben ejecutar diferentes tipos de modificación de respuesta.

En síntesis, la evidencia de la privación total de sueño sobre los componentes de modificación, detección y comparación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas demuestra una falta de consenso tanto en cómo se definen estas capacidades como en la forma en que se han analizado, lo que ha limitado determinar

si estos componentes presentan variaciones homeostáticas. Por lo tanto, faltan por esclarecer los efectos de la privación total de sueño en todos los tipos de modificación de respuesta (continuar, detener, cambiar y ajustar) usando una misma tarea con el propósito de determinar con precisión la existencia de variaciones homeostáticas en el componente de modificación y analizar si existen diferencias entre las diferentes formas de modificación de respuesta. Así mismo, falta por identificar el efecto de la retroalimentación externa inmediata sobre la ejecución durante la privación total de sueño en cada uno de los tipos de modificación de respuesta con el propósito de determinar la existencia de variaciones homeostáticas en los componentes de detección y comparación. De igual manera, aún no se han establecido los efectos de la privación total de sueño en los componentes de detección y comparación utilizando un procedimiento como la retroalimentación verbal, ya que este procedimiento permite medir la detección y comparación de las respuestas de forma inmediata. Además, es importante analizar los efectos de la privación total de sueño tanto en la detección de aciertos y errores como en todos los tipos de modificación mencionados, lo que también permitiría determinar la existencia de variaciones homeostáticas en los componentes de detección y comparación.

Objetivos

Este estudio plantea los siguientes objetivos:

Objetivo General

Determinar los efectos de la privación total de sueño en los componentes del

mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas.

Objetivos Específicos

1. Determinar el efecto de la privación total de sueño en el componente de modificación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas.
2. Determinar el efecto de la privación total de sueño en los componentes de detección y comparación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas, a partir de la retroalimentación externa.
3. Determinar el efecto de la privación total de sueño en los componentes de detección y comparación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas, a partir de la retroalimentación verbal inmediata.

Hipótesis

En base a las consideraciones teóricas del modelo de las funciones ejecutivas que se describe en este estudio y a la evidencia empírica de los efectos de la privación total de sueño en los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas, se proponen las siguientes hipótesis:

1. La privación total de sueño reducirá la eficiencia del componente de modificación (continuar, detener, cambiar y ajustar) del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas.
2. El efecto de la retroalimentación externa depende de los componentes de detección y comparación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. Por lo tanto, la retroalimentación externa aumentará la eficiencia

- de todos los tipos de modificación en condiciones normales de sueño. Sin embargo, la privación total de sueño reducirá la eficiencia de los componentes de detección y comparación, provocando que la eficiencia de respuesta de todos los tipos de modificación no sea beneficiada por la retroalimentación externa.
3. La eficiencia de la retroalimentación verbal inmediata depende de los componentes de detección y comparación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. La privación total de sueño reducirá la eficiencia de estos componentes, provocando una disminución en la eficiencia de los indicadores de la retroalimentación verbal inmediata.

Limitaciones y Delimitaciones

En este estudio se utiliza un modelo de las funciones ejecutivas basado en el funcionamiento cerebral, el cual incluye dos mecanismos: el mecanismo de programación y el mecanismo de regulación. Sin embargo, esta tesis pretende determinar solamente los efectos de la privación total de sueño en los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. Es importante que futuros estudios determinen los efectos de la privación de sueño en los componentes del mecanismo de programación de las funciones ejecutivas. Esto permitirá conocer los efectos específicos de la privación de sueño en todos los componentes de las funciones ejecutivas.

Por otro lado, se pretenden analizar las variaciones homeostáticas en los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. Esto se llevará

a cabo a partir de un protocolo de privación total de sueño, en donde se pueden medir estos componentes antes, durante y después de la privación total de sueño. Sin embargo, se han documentado variaciones homeostáticas y circadianas en el comportamiento humano. En este trabajo no se analizarán las variaciones circadianas en las funciones ejecutivas, las cuales se pueden determinar sometiendo a los participantes a condiciones constantes por 30 horas. Por esta razón, es importante que en futuros estudios se examine la posible existencia de variaciones circadianas en las funciones ejecutivas, tanto en los componentes del mecanismo de programación como en los del mecanismo de regulación.

III. MÉTODO

El presente estudio tiene como objetivo evaluar los efectos de la privación total de sueño en los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. Para ello, se requiere registrar las respuestas de los participantes en una tarea neuropsicológica que mide dichos componentes antes, durante y después de la condición de privación total de sueño.

Diseño

Este trabajo constituye un estudio cuantitativo de alcance descriptivo y comparativo, de tipo cuasiexperimental y longitudinal.

Participantes

En este estudio se registraron a 20 estudiantes universitarios, 13 mujeres y 7 hombres, con una edad promedio de 19.20 ± 1.94 (promedio $\pm$ desviación estándar). Los participantes asistían a clases de lunes a viernes en el horario intermedio (10:20h - 13:40h) o en el horario vespertino (13:40h - 17:00h). Los criterios de inclusión que se establecieron para participar en este estudio consistían en no presentar trastornos neurológicos, trastornos psiquiátricos o trastornos de sueño y no consumir sustancias con efectos en el sistema nervioso central durante el experimento.

Instrumentos

Cuestionarios

1. Una carta de consentimiento informado en la cual se informó a los participantes acerca del objetivo y las características del estudio. Los participantes interesados firmaron esta carta para autorizar su participación en el estudio, así como los padres o tutores de los participantes menores de edad.
2. Un cuestionario de datos generales que incluye preguntas acerca de la edad, escolaridad, horario de clases, historial clínico, y uso de sustancias psicoactivas. Los datos de este cuestionario se utilizaron para identificar si los participantes cumplían con los criterios de inclusión de este estudio.
3. Un cuestionario de hábitos del dormir (Valdez, 2015) que incluye preguntas acerca de los parámetros del ciclo de vigilia-sueño como el inicio, terminación y duración del dormir tanto de los días de entre semana como de los del fin de semana.
4. Un cuestionario de trastornos del sueño (Aernout et al., 2021; Bixler et al., 1979) que incluye preguntas con el objetivo de detectar síntomas de insomnio, somnolencia diurna, o despertares nocturnos. Este cuestionario incluye 15 preguntas relacionadas con los síntomas de los trastornos del sueño previamente mencionados. Todas las preguntas incluyen las opciones de respuesta si/no, y en caso de una respuesta afirmativa los participantes deben contestar una escala Likert de 5 puntos para evaluar el nivel de molestia que causa dicha dificultad: “nada”, “bajo”, “medio”, “alto” o “muy

- alto". Un síntoma es considerado como detección de un trastorno del sueño si el participante reporta la presencia de una dificultad en el sueño y además califica la dificultad en un nivel alto o muy alto.
5. Un diario de dormir (Valdez et al., 1996) para registrar los parámetros del ciclo de vigilia-sueño de los participantes como el inicio, la terminación, y la duración del dormir, las siestas durante el día y los despertamientos durante la noche. Este cuestionario se utilizó para verificar que los participantes mantuvieran una duración del dormir de 8 horas los días previos al estudio.
 6. Las escalas visuales analógicas (Cluydts et al., 2002) para evaluar la somnolencia y cansancio de los participantes. Estas escalas consisten en una línea horizontal con un largo de 10 cm en la que los participantes deben indicar el nivel de somnolencia que sentían en ese momento con una marca (línea vertical). El nivel mínimo de somnolencia es representado en el extremo izquierdo de la línea y el nivel máximo en el extremo derecho. Este instrumento se aplicó antes de los registros de la tarea neuropsicológica durante las condiciones de línea base, privación total de sueño y recuperación
 7. Una versión en español (Valdez et al., 1998) del cuestionario de matutinidad-vespertinidad (Horne & Ostberg, 1976) para determinar el cronotipo de los participantes. El puntaje de este cuestionario se clasifica en 5 categorías de cronotipo: definitivamente madrugador, moderadamente madrugador, intermedio, moderadamente trasnecedor o definitivamente trasnecedor. Se

excluyeron los registros de los participantes con un cronotipo extremo como el cronotipo definitivamente matutino o el cronotipo definitivamente nocturno.

Materiales

En este trabajo se usó un actígrafo marca Micro Motionlogger® Watch (Ambulatory Monitoring, Inc.), con el que se registró la actividad motora cada minuto, lo que permite identificar los parámetros del ciclo de vigilia-sueño, ya que cuando la persona está despierta tiene una gran cantidad de movimientos, mientras que los movimientos disminuyen radicalmente cuando la persona está dormida (Smith et al., 2018).

En este estudio se usó una computadora personal con un monitor de 17 pulgadas (1280 × 1024 píxeles), ubicado a 60 cm enfrente del participante, así como un ratón de la computadora. Además, se usó el programa DirectRT v2018 (Empirisoft Corporation), para presentar los estímulos y registrar las respuestas de los participantes.

Tarea

Tarea de seguimiento modificada. La tarea de seguimiento modificada ha sido utilizada para evaluar habilidades visomotoras y diferentes componentes de las funciones ejecutivas (García et al., 2016; Miall et al., 1987, 1988). Esta tarea consiste en la aparición de estímulos que se mueven a lo largo de una pantalla de computadora de forma aleatoria o lineal y requiere que las respuestas de los participantes coincidan con los estímulos que se presentan mediante el uso de una palanca de mando (“joystick”) o un ratón de la computadora (Pew, 1974).

En este estudio se utilizó una tarea de seguimiento computarizada que se modificó para evaluar los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. Esta tarea consiste en la aparición de círculos de diferentes colores que se mueven a lo largo de un monitor de computadora. La tarea se distribuye en 21 ensayos de estímulos aleatorios y 21 ensayos de estímulos de seguimiento. Los ensayos aleatorios consisten en la aparición de 10 círculos negros que aparecen de forma aleatoria en 9 ubicaciones posibles, distribuidas en el centro del borde izquierdo de la pantalla. Después de cada ensayo aleatorio se presenta un ensayo de seguimiento, en el que los círculos aparecen en una de 7 trayectorias lineales posibles: tres trayectorias diagonales superiores, tres trayectorias diagonales inferiores o una trayectoria horizontal. Los círculos aparecen en la pantalla durante uno de 3 intervalos posibles: 500ms, 600ms o 700ms. En los ensayos de seguimiento aparecen círculos negros (183 estímulos), círculos rojos (68 estímulos) y círculos verdes (66 estímulos). Los círculos rojos y los círculos verdes aparecen después del cuarto círculo de cada trayectoria de forma aleatoria. Los participantes deben seguir los círculos a lo largo del monitor con el cursor del ratón de la computadora y hacer clic con el botón izquierdo del ratón de la computadora dentro de los círculos negros (continuar), no responder ante los círculos rojos (detener), hacer clic con el botón derecho del ratón de la computadora dentro de los círculos verdes (cambiar), y responder ante los cambios en la trayectoria y velocidad de los círculos (ajustar).

La tarea de seguimiento modificada se divide en tres secciones: sin retroalimentación (SR), con retroalimentación externa (RE) y con retroalimentación verbal inmediata (RV). La sección SR se utilizó como una condición control para

evaluar el nivel general de los participantes en las capacidades para continuar, detener, cambiar y ajustar las respuestas. En la sección RE se presentan dos tipos de estímulos auditivos con una duración de 100 ms inmediatamente después de cada respuesta de los participantes. Se presenta un estímulo auditivo con una frecuencia de 450 Hz cuando la respuesta del participante es correcta y se presenta un estímulo auditivo con una frecuencia de 250 Hz cuando la respuesta es incorrecta. En la sección RV se presenta un sonido de aviso (100 ms) con una frecuencia de 1000 Hz de forma aleatoria cuando el participante responde ante algunos estímulos seleccionados (84 estímulos = 28 círculos negros, 28 círculos rojos y 28 círculos verdes) El sonido de aviso le indica al participante que debe reportar en voz alta “sí”, en caso de que detecte que su respuesta es correcta o “no”, en caso de que detecte que su respuesta es incorrecta. Las respuestas verbales de los participantes fueron registradas en una hoja de papel a mano y fueron procesadas digitalmente después del registro (Figura 2).

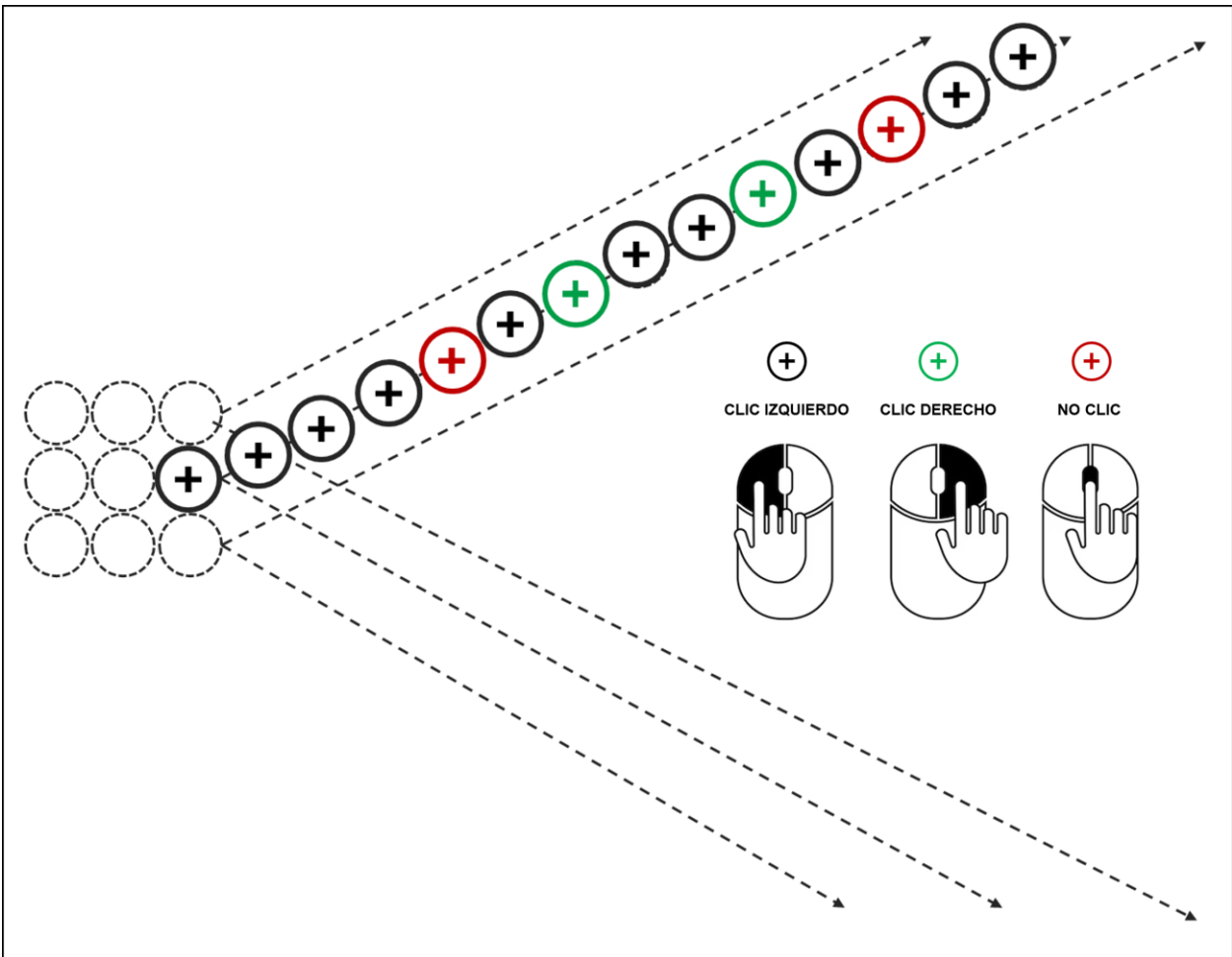


Figura 2. Tarea de seguimiento modificada.

Se utilizó el porcentaje de respuestas correctas ante los círculos negros como indicadores de la capacidad para continuar las respuestas; el porcentaje de respuestas correctas ante los círculos rojos como indicadores de la capacidad para detener las respuestas; y el porcentaje de respuestas correctas ante los círculos verdes como indicadores de la capacidad para cambiar las respuestas. Además, se utilizó el porcentaje de respuestas correctas ante las respuestas al cuarto círculo después de los ensayos aleatorios como indicador de la capacidad para ajustar las respuestas. Se evaluó el componente de modificación del mecanismo de regulación de las funciones

ejecutivas a partir del porcentaje de respuestas correctas de cada tipo de modificación de respuesta (continuar, detener, cambiar y ajustar) en la sección SR. Por otro lado, el componente de detección y comparación se evaluó a partir de la diferencia entre las condiciones SR y RE en los indicadores para cada tipo de modificación. El componente de detección y comparación también se evaluó a partir del porcentaje de respuestas verbales que coincidían con la eficiencia real durante la sección RV. Se utilizaron como base los indicadores de la teoría de detección de señales para analizar si los participantes detectaron correctamente la eficiencia de sus respuestas. En la teoría de detección de señales, los aciertos representan las respuestas en las que las personas detectan la señal cuando está presente. Los rechazos correctos representan las respuestas en las que las personas detectan correctamente que no hay una señal. Los errores u omisiones representan las respuestas en la que las personas no detectan la señal cuando está presente. Las falsas alarmas representan las respuestas en las que las personas detectan que hay una señal cuando no está presente (Green & Swets, 1966) (Figura 3).

		RESPUESTA VERBAL	
		“SI”	“NO”
SEÑAL	PRESENTE	<u>ACIERTO</u>	<u>ERROR</u>
	NO PRESENTE	<u>FALSA ALARMA</u>	<u>RECHAZO CORRECTO</u>

Figura 3. Indicadores de la teoría de detección de señales.

En base a las condiciones de la tarea de seguimiento modificada y el modelo de las funciones ejecutivas que se propuso en este estudio, se utilizaron diferentes términos que se basan en los indicadores de la teoría de detección de señales mencionados anteriormente. Los indicadores de la retroalimentación verbal inmediata que se utilizaron en este estudio son los siguientes: retroalimentación correcta de aciertos, retroalimentación correcta de errores, retroalimentación incorrecta de aciertos, retroalimentación incorrecta de errores y omisiones de respuesta. La retroalimentación correcta de aciertos corresponde a las respuestas correctas en las que el participante respondió “sí”. La retroalimentación correcta de errores corresponde a las respuestas incorrectas en las que el participante respondió “no”. La retroalimentación incorrecta de aciertos corresponde a las respuestas correctas en las que el participante respondió “no”. La retroalimentación incorrecta de errores corresponde a las respuestas incorrectas en las que el participante respondió “sí”. Las omisiones de respuesta corresponden a los estímulos en los que el participante no dio una respuesta verbal (Figura 4).

		RESPUESTA VERBAL	
		“SI”	“NO”
RESPUESTA	ACIERTO	<u>RETROALIMENTACIÓN</u> <u>CORRECTA</u>	<u>RETROALIMENTACIÓN</u> <u>INCORRECTA</u>
	ERROR	<u>RETROALIMENTACIÓN</u> <u>INCORRECTA</u>	<u>RETROALIMENTACIÓN</u> <u>CORRECTA</u>

Figura 4. Indicadores de la retroalimentación verbal inmediata.

Procedimiento

Se solicitó la participación voluntaria de estudiantes universitarios y se les explicó las condiciones y las características del estudio a los interesados. Se les solicitó firmar una carta de consentimiento informado a los estudiantes y los tutores de los menores de edad que aceptaron participar en el estudio. Luego, los participantes contestaron el cuestionario de datos generales, el cuestionario de trastornos del sueño y el cuestionario de matutinidad-vespertinidad con el propósito de verificar que cumplieran con los criterios de inclusión para este estudio. El protocolo de privación total de sueño se llevó a cabo durante 6 días consecutivos (Figura 5).

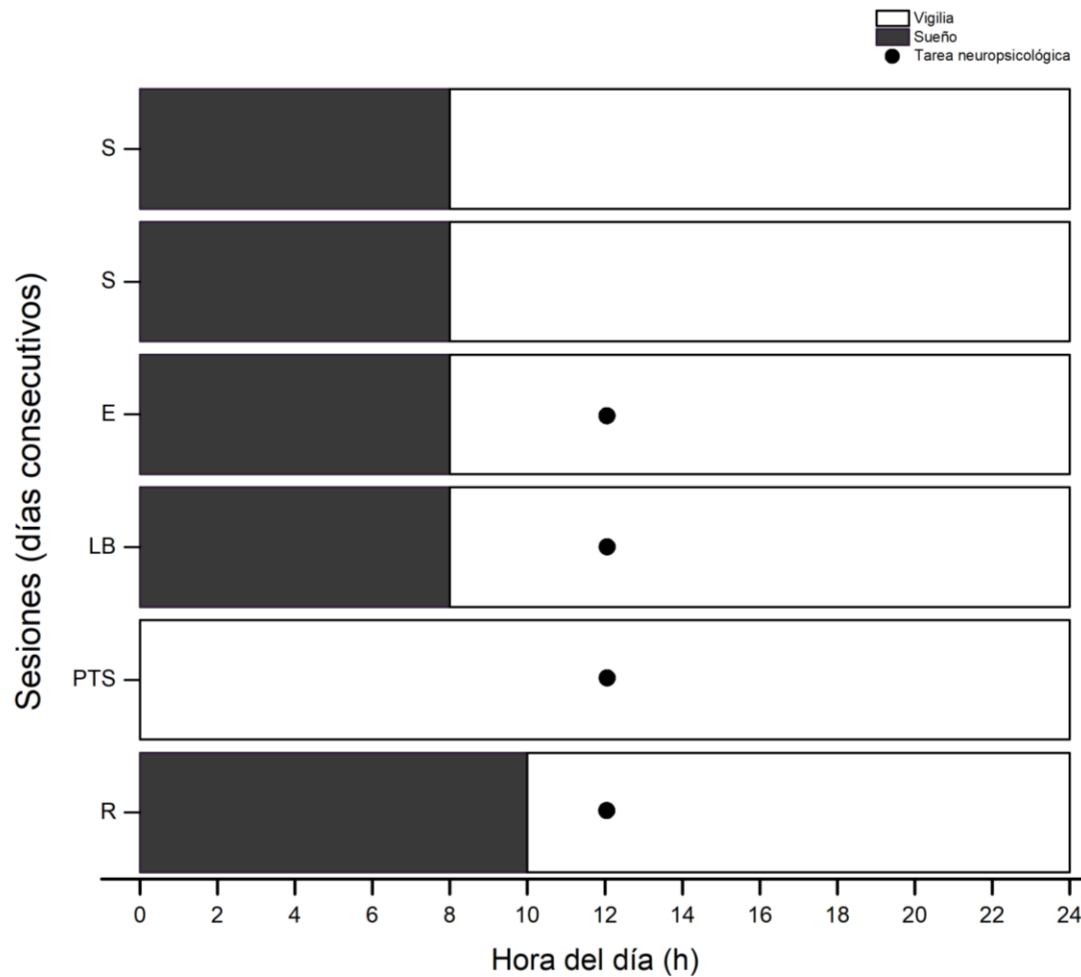


Figura 5. Protocolo de privación total de sueño. S= sincronización, E = entrenamiento, LB = línea base, PTS = privación total de sueño, R = recuperación.

Durante los primeros 3 días, los participantes mantuvieron un ciclo sueño-vigilia regular de ocho horas y completaron un diario del dormir para cada día con el propósito de asegurar que los participantes no estuvieran privados de sueño durante las sesiones posteriores (sincronización, S). El tercer día de sincronización se llevó a cabo la fase de entrenamiento en la que los participantes asistieron al laboratorio entre las 11:00 h y las 15:00 h para realizar la tarea de seguimiento modificada, con el propósito de asegurar que conocían la tarea y que podían ejecutarla (entrenamiento, E). El cuarto día se

efectuó el registro sin restricción de sueño (línea base, LB). En esta fase, los participantes asistieron al laboratorio después de dormir ocho horas y respondieron la tarea de seguimiento modificada en el mismo horario. El mismo día los participantes regresaron al laboratorio a las 20:00 h, se mantuvieron despiertos toda la noche y respondieron de nuevo la tarea de seguimiento modificada entre las 11:00 h y las 15:00 h (privación total de sueño, PTS). Finalmente, los participantes durmieron libremente la noche del quinto día y respondieron la tarea de seguimiento modificada por última vez el sexto día, en el mismo horario que los registros anteriores (recuperación, R). En cada registro, se les solicitó que respondieran una escala analógica visual de somnolencia y cansancio antes de la aplicación de la tarea. Los participantes fueron registrados sentados en una silla de oficina frente a un escritorio en una habitación aislada.

Análisis de datos

Se realizó una prueba t de Student para comparar los parámetros del ciclo de vigilia-sueño de los participantes entre los días de entre semana y fin de semana obtenidos de los resultados del cuestionario de hábitos del dormir. Se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas para comparar los efectos entre las condiciones de sincronización (S), entrenamiento (E), línea base (LB) y recuperación (R) en los parámetros del ciclo sueño-vigilia obtenidos de los resultados del actígrafo. En el caso de que existieran errores técnicos en el registro actigráfico durante alguna condición del experimento, se tomaron los resultados del diario del dormir para determinar los parámetros del ciclo de sueño-vigilia de los participantes. También se

utilizó un ANOVA de medidas repetidas para comparar los resultados de las escalas analógicas de somnolencia y cansancio entre las condiciones de sueño. Las comparaciones significativas fueron analizadas con la prueba post hoc Tukey.

Se usó un modelo general lineal (GLM) que considera como factores la condición de sueño (línea base, privación total de sueño y recuperación), el tipo de modificación (continuar, detener, cambiar y ajustar) y la retroalimentación (sin retroalimentación y con retroalimentación externa). Las comparaciones significativas fueron analizadas con la prueba post hoc Tukey para determinar el efecto de la retroalimentación externa sobre los tipos de modificación de respuesta durante cada condición de sueño. Este modelo se utilizó con el propósito de determinar los efectos específicos de la privación total de sueño en los componentes de detección y comparación sobre cada tipo de modificación de respuesta. Es importante mencionar que los resultados del GLM se consideraron como los resultados finales de los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas, debido a que este modelo incluye todos los factores de manera simultánea, permitiendo determinar tanto los efectos principales de cada factor como sus posibles interacciones. Además, se obtuvo el tamaño del efecto por medio de la eta cuadrada parcial (η^2) con el objetivo de identificar la magnitud de la influencia de cada factor. Se considera un tamaño del efecto pequeño cuando $\eta^2 \approx 0.01$, moderado cuando $\eta^2 \approx 0.06$ y grande cuando $\eta^2 \approx 0.14$ (Cohen, 1988; Richardson, 2011).

Por último, se utilizó un ANOVA de medidas repetidas para comparar los efectos entre las condiciones de línea base, privación total de sueño y recuperación en los indicadores de la retroalimentación verbal inmediata para los siguientes tipos de

modificación de respuesta: continuar, detener y cambiar.

Consideraciones éticas

El presente estudio se llevó a cabo bajo las condiciones éticas de la declaración de Helsinki (World Medical Association, 2025). De acuerdo con los estándares de esta declaración:

1. Se explicó a cada uno de los participantes los objetivos y el procedimiento del estudio.
2. A cada participante se le invitó a firmar una carta de consentimiento informado, esta carta también la firmaron los padres (tutores) del participante, cuando éste era menor de edad.
3. La participación en el estudio fue voluntaria. Se les indicó a los participantes que su participación podía ser suspendida en caso de que lo desearan en cualquier etapa del estudio, aunque ya hubieran confirmado su participación.
4. Se utilizaron los resultados cuidando mantener la confidencialidad de los participantes y sus datos.
5. Se protegió la vida, salud, dignidad, integridad, derecho a la autodeterminación, privacidad y confidencialidad de todos los participantes.

IV. RESULTADOS

En este capítulo, primero se describen los resultados del cuestionario de hábitos del dormir. Luego, los parámetros del ciclo de vigilia-sueño de los participantes durante las condiciones del protocolo de privación total de sueño. Posteriormente, los resultados de las escalas analógicas de somnolencia y cansancio que se aplicaron durante los registros y los resultados del cuestionario de matutinidad-vespertinidad. Por último, se describen los resultados de los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas en cada sección de la tarea de seguimiento modificada.

Hábitos del dormir

Se obtuvo el inicio, la terminación y la duración del dormir de los días de entre semana y fin de semana de los participantes a partir del reporte en el cuestionario de hábitos del dormir que contestaron previo al estudio. Los participantes reportaron acostarse a dormir entre semana a las $23:22 \pm 00:57h$ y levantarse a las $07:46 \pm 01:30h$, con una duración de sueño de $08:23 \pm 1:24h$. Durante los fines de semana los participantes reportaron acostarse a las $00:04 \pm 01:09h$ y levantarse a las $09:38 \pm 00:51h$, con una duración del dormir de $09:34 \pm 01:10h$ (Tabla 1). Se encontró que los participantes se fueron a dormir antes ($t = -3.68$, $p < 0.005$), se despertaron más temprano ($t = -6.36$, $p < 0.001$) y durmieron menos horas ($t = -4.10$, $p < 0.001$) entre semana, en comparación con los días del fin de semana (Figura 6).

Tabla 1. Comparación del inicio, terminación y duración del dormir entre los días de entre semana y fin de semana del cuestionario de hábitos del dormir

Parámetro	ES	FS	ES vs FS t
Inicio del dormir (hora del día, h:m)	23:22 ± 0:57	00:04 ± 1:09	-3.68**
Terminación del dormir (hora del día, h:m)	07:46 ± 1:30	09:38 ± 0:51	-6.36***
Duración del dormir (h:m)	08:23 ± 1:24	09:34 ± 1:10	-4.10***

Los valores son promedio ± desviación estándar. ES= Entre semana, FS= Fin de semana, h:m = horas y minutos, ***p<0.001.

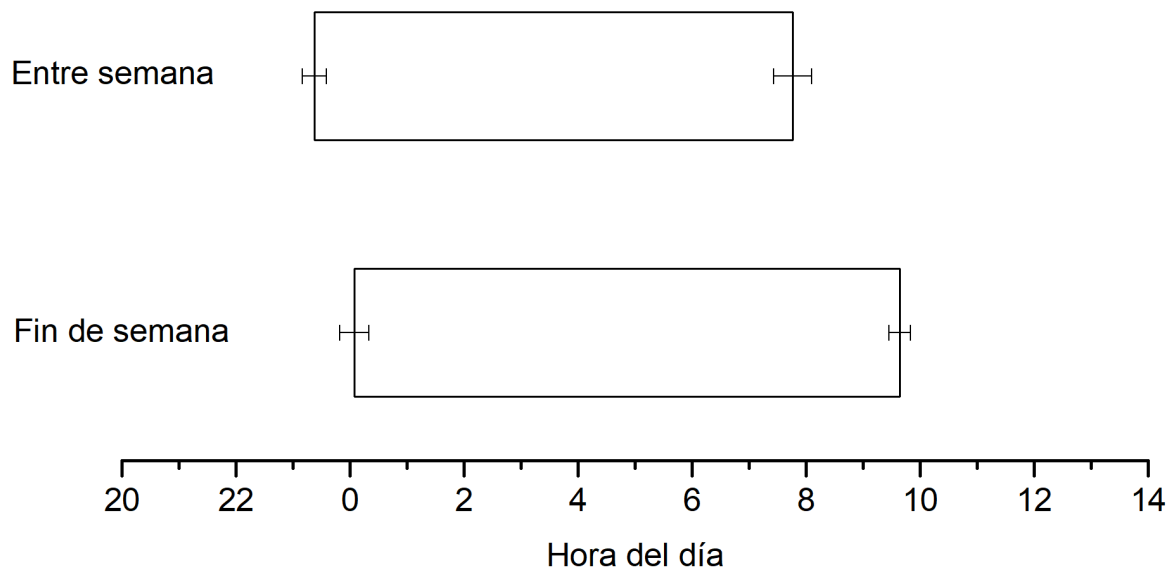


Figura 6. Duración del dormir de los participantes en los días de entre semana y fin de semana del cuestionario de hábitos del dormir.

Parámetros del ciclo de vigilia-sueño

Se obtuvo el inicio, la terminación y la duración del dormir de los participantes durante cada condición del protocolo de privación total de sueño a partir del registro

actigráfico o el diario del dormir (Tabla 2). Los participantes se acostaron más temprano ($p<0.001$), se despertaron más tarde (<0.001) y durmieron más tiempo ($p<0.001$) durante la condición de recuperación comparado con las condiciones de sincronización, entrenamiento y línea base. No se encontraron diferencias significativas en el inicio, la terminación y la duración del dormir entre las condiciones de sincronización, entrenamiento y línea base (Figura 7).

Tabla 2. Comparación del inicio, terminación y duración del dormir entre las condiciones de sincronización, entrenamiento, línea base y recuperación

Parámetro	S	E	LB	R	F
Inicio del dormir (hora del día, h:m)	23:44 ± 1:25	23:18 ± 1:22	23:42 ± 1:04	20:58 ± 2:12	15.54***
Terminación del dormir (hora del día, h:m)	07:25 ± 1:27	07:56 ± 1:23	07:29 ± 1:05	09:15 ± 1:33	7.29***
Duración del dormir (h:m)	07:41 ± 1:27	08:37 ± 1:27	07:47 ± 0:38	12:01 ± 2:01	35.05***

Los valores son promedio ± desviación estándar. S = sincronización, E = entrenamiento, LB = línea base, R = recuperación, h:m = horas y minutos, * $p<0.01$, *** $p<0.001$.

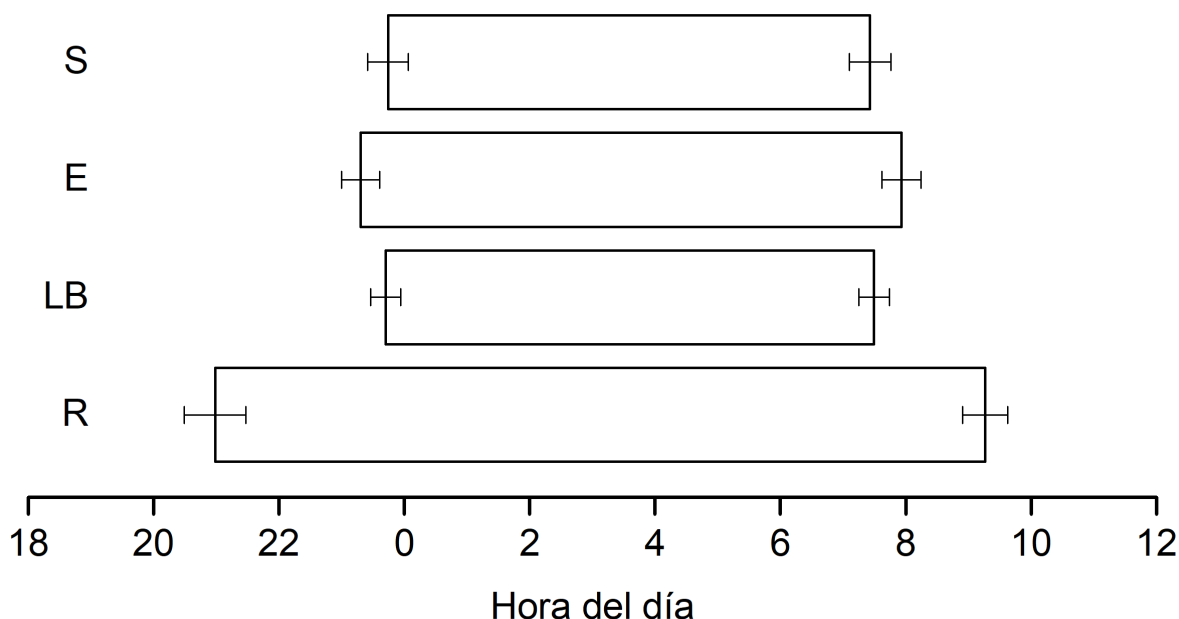


Figura 7. Ciclo de vigilia-sueño de los participantes durante las condiciones del protocolo de privación total de sueño. S = sincronización, E = entrenamiento, LB = línea base, R = recuperación.

Somnolencia y cansancio

Se obtuvieron los resultados de las escalas analógicas de somnolencia y cansancio que se aplicaron antes de las aplicaciones de la tarea de seguimiento modificada durante cada sesión del protocolo de privación total de sueño (Tabla 3). Los participantes reportaron un mayor nivel de somnolencia durante la sesión de privación total de sueño (7.21 ± 2.56 cm) en comparación con las sesiones de línea base (2.10 ± 1.98 cm) y recuperación (1.38 ± 1.55 cm). Además, reportaron un mayor nivel de cansancio en la sesión de privación total de sueño (6.56 ± 2.54 cm), en comparación con las sesiones de línea base (2.20 ± 2.16 cm) y recuperación (1.56 ± 1.62 cm). No se encontraron diferencias significativas entre las condiciones de línea base y recuperación en las medidas de somnolencia y cansancio reportadas por los

participantes (Figura 8).

Tabla 3. Escalas analógicas de somnolencia y cansancio

Condición	LB	PTS	R	F
Somnolencia	2.10 ± 1.98	7.21 ± 2.56	1.38 ± 1.55	45.07***
Cansancio	2.20 ± 2.16	6.56 ± 2.54	1.56 ± 1.62	30.87***

Los valores son promedio ± desviación estándar. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación, ***p<0.001.

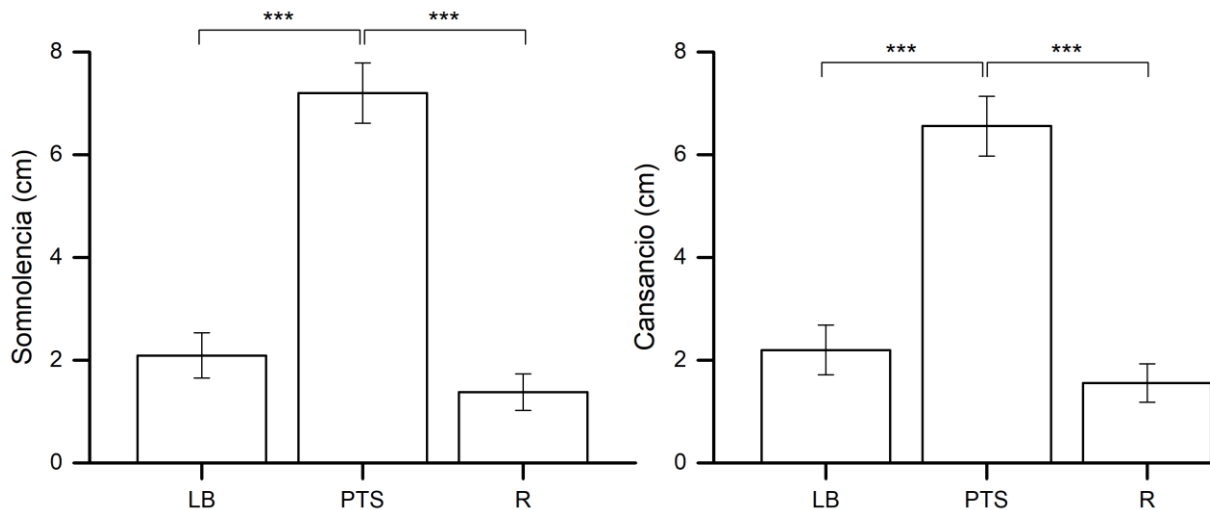


Figura 8. Comparación de la somnolencia y el cansancio entre las condiciones del protocolo de privación total de sueño. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación. ***p<0.001.

Matutinidad-vespertinidad

Los participantes obtuvieron una puntuación de 40.85 ± 4.46 puntos (promedio ± desviación estándar) en el cuestionario de matutinidad-vespertinidad, nueve de ellos

fueron clasificados con un cronotipo intermedio y once fueron clasificados con un cronotipo moderadamente traspasador (Tabla 4).

Tabla 4. Cuestionario de matutinidad-vespertinidad

Participante	Edad	Puntaje	Cronotipo
1	17	35	Moderadamente traspasador
2	20	44	Intermedio
3	18	39	Moderadamente traspasador
4	20	37	Moderadamente traspasador
5	20	34	Moderadamente traspasador
6	20	38	Moderadamente traspasador
7	00	40	Moderadamente traspasador
8	21	43	Intermedio
9	19	40	Moderadamente traspasador
10	18	42	Intermedio
11	18	47	Intermedio
12	22	36	Moderadamente traspasador
13	21	43	Intermedio
14	18	44	Intermedio
15	17	47	Intermedio
16	18	45	Intermedio
17	17	40	Moderadamente traspasador
18	17	37	Moderadamente traspasador
19	18	50	Intermedio
20	21	36	Moderadamente traspasador
Promedio	19.20	40.85	
D.E	1.93	4.46	

D.E = Desviación estándar.

Mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas

En esta sección se describen los resultados del modelo general lineal (GLM) que considera como factores la condición de sueño, el tipo de modificación y la retroalimentación externa. Se encontró una interacción significativa en los siguientes factores principales: condición de sueño (línea base, privación total de sueño y

recuperación), tipo de modificación (continuar, detener, cambiar y ajustar) y retroalimentación (sin y con retroalimentación externa). Además, se observó una interacción significativa entre los factores de condición de sueño, tipo de modificación y retroalimentación (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas del modelo general lineal (GLM) para los factores principales y su interacción

ANOVA (F)		ANOVA (F)		ANOVA (F)		ANOVA (F)	
Condición	η^2	Tipo de	η^2	Retroalimentación	η^2	Interacción	η^2
de sueño		modificación					
19.94***	0.51	73.71***	0.79	41.49***	0.68	2.11*	0.10

La eta cuadrada parcial (η^2) representa el tamaño del efecto, * $p=0.05$, *** $p<0.001$.

A partir de los resultados del GLM, se hicieron comparaciones post hoc utilizando la prueba de Tukey con el objetivo de determinar el efecto de la privación total de sueño en cada componente del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas sin y con retroalimentación externa. En primer lugar, se presenta la comparación entre las condiciones de sueño del porcentaje de respuestas correctas para cada tipo de modificación (continuar, detener, cambiar y ajustar) en la sección sin retroalimentación. Luego, se presenta la comparación entre las condiciones de sueño del porcentaje de respuestas correctas de cada tipo de modificación entre la sección sin retroalimentación y la sección de retroalimentación externa. Finalmente, se

describen las comparaciones entre las condiciones de sueño de los indicadores de la retroalimentación verbal inmediata de cada tipo de modificación.

Modificación

Sin retroalimentación. En esta sección se describen los resultados del componente de modificación a partir del porcentaje de respuestas correctas de cada tipo de modificación durante la sección sin retroalimentación de la tarea de seguimiento modificada. Se encontró una reducción en el porcentaje de respuestas correctas que obtuvieron los participantes durante la condición de privación total de sueño en comparación con las condiciones de línea base y recuperación en los siguientes tipos de modificación: continuar ($p < 0.001$), detener ($p < 0.001$), cambiar ($p < 0.001$) y ajustar ($p < 0.001$) (Tabla 6). No se encontraron diferencias significativas entre las condiciones de línea base y recuperación en el porcentaje de respuestas correctas para ningún tipo de modificación. Esto indica que la privación total de sueño disminuyó la capacidad de los participantes para modificar sus respuestas cuando no recibían retroalimentación externa acerca de su ejecución (Figura 9).

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Comparaciones post hoc entre las condiciones de sueño de la sección sin retroalimentación

Tipo de modificación	LB	PTS	R
Continuar Respuestas correctas (%)	73.30 ± 11.76	58.52 ± 20.29***	76.12 ± 11.63
Detener Respuestas correctas (%)	88.82 ± 7.45	82.50 ± 13.75***	90.00 ± 9.51
Cambiar Respuestas correctas (%)	71.89 ± 14.90	56.74 ± 00.20***	74.92 ± 13.89
Ajustar Respuestas correctas (%)	79.54 ± 17.91	66.81 ± 21.32***	82.72 ± 13.15

Los valores son promedio ± desviación estándar. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación, ***p<0.001.

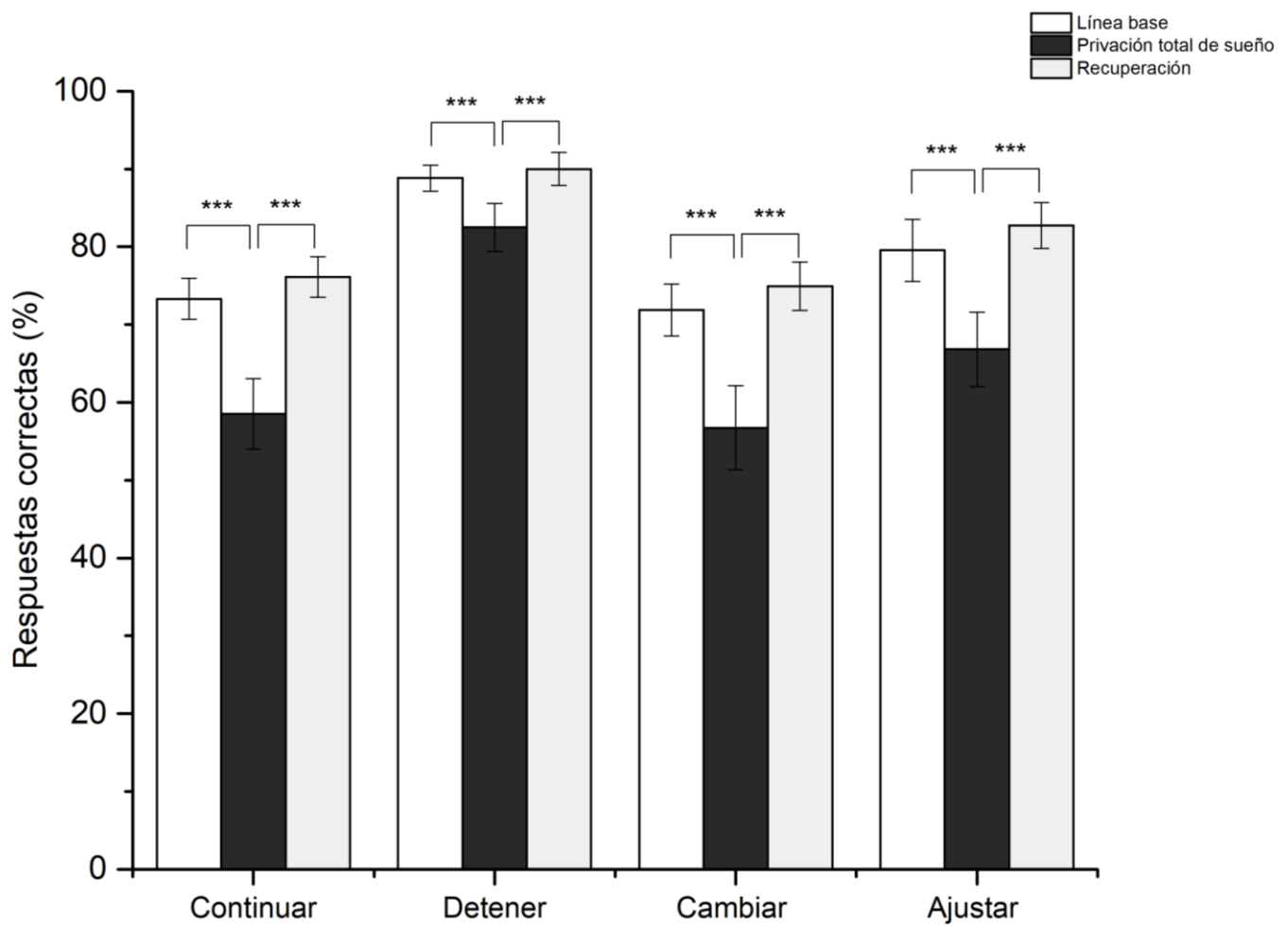


Figura 9. Comparación entre las condiciones de sueño de todos los tipos de modificación de respuesta durante la sección sin retroalimentación. *** $p < 0.001$.

Detección y Comparación

Retroalimentación externa. En esta sección se describen los resultados de los componentes de detección y comparación a partir de la diferencia en el porcentaje de respuestas correctas de cada tipo de modificación entre la sección sin retroalimentación y la sección con retroalimentación externa de la tarea de seguimiento modificada. Se encontró un aumento en el porcentaje de respuestas correctas en la sección con retroalimentación externa durante la condición de línea base, en comparación con la sección sin retroalimentación, en los siguientes tipos de modificación: continuar ($p < 0.001$) (Figura 10), detener ($p < 0.01$) (Figura 11), cambiar ($p < 0.01$) (Figura 12), y ajustar ($p < 0.001$) (Figura 13). Esto indica que la retroalimentación externa aumentó la capacidad de los participantes para modificar sus respuestas en condiciones normales de sueño. Esto es similar a los resultados obtenidos durante la condición de recuperación, en la que se observó un aumento en el porcentaje de respuestas correctas en la sección con retroalimentación externa para los tipos de modificación de continuar ($p < 0.05$), detener ($p < 0.05$) y ajustar ($p < 0.001$) en comparación con la sección sin retroalimentación. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de respuestas correctas en el tipo de modificación de cambiar entre la sección sin retroalimentación y la sección con retroalimentación externa durante la condición de recuperación ($p = \text{NS}$). Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas en el porcentaje de respuestas correctas entre la sección sin retroalimentación y la sección con retroalimentación externa durante la privación total de sueño en los tipos de modificación de continuar ($p = \text{NS}$), cambiar ($p = \text{NS}$) y ajustar ($p = \text{NS}$), pero si en el tipo de modificación de detener ($p < 0.01$). Estos resultados indican que la privación total de

sueño disminuyó la capacidad de los participantes para detectar y comparar el efecto de sus respuestas cuando debían continuar, cambiar y ajustar. Sin embargo, este efecto no se observó en la capacidad de los participantes para detener sus respuestas; por el contrario, la retroalimentación externa aumentó dicha capacidad durante la privación total de sueño, alcanzando niveles similares a los observados durante las condiciones de línea base y recuperación de la sección sin retroalimentación (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Comparaciones post hoc entre las secciones sin retroalimentación y con retroalimentación externa

Tipo de modificación	Sección	LB	PTS	R
Continuar Respuestas correctas (%)	Sin retroalimentación	73.30 ± 11.76	58.52 ± 20.29	76.12 ± 11.63
	Con retroalimentación	81.93 ± 6.71***	63.85 ± 21.25	83.14 ± 5.65*
Detener Respuestas correctas (%)	Sin retroalimentación	88.82 ± 7.45	82.50 ± 13.75	90.00 ± 9.51
	Con retroalimentación	97.20 ± 2.89**	90.00 ± 9.87**	97.13 ± 2.15*
Cambiar Respuestas correctas (%)	Sin retroalimentación	71.89 ± 14.90	56.74 ± 00.20	74.92 ± 13.89
	Con retroalimentación	80.30 ± 10.80**	56.81 ± 23.44	80.60 ± 10.91
Ajustar Respuestas correctas (%)	Sin retroalimentación	79.54 ± 17.91	66.81 ± 21.32	82.72 ± 13.15
	Con retroalimentación	96.36 ± 6.18***	71.81 ± 23.76	94.09 ± 8.98***

Los valores son promedio ± desviación estándar. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

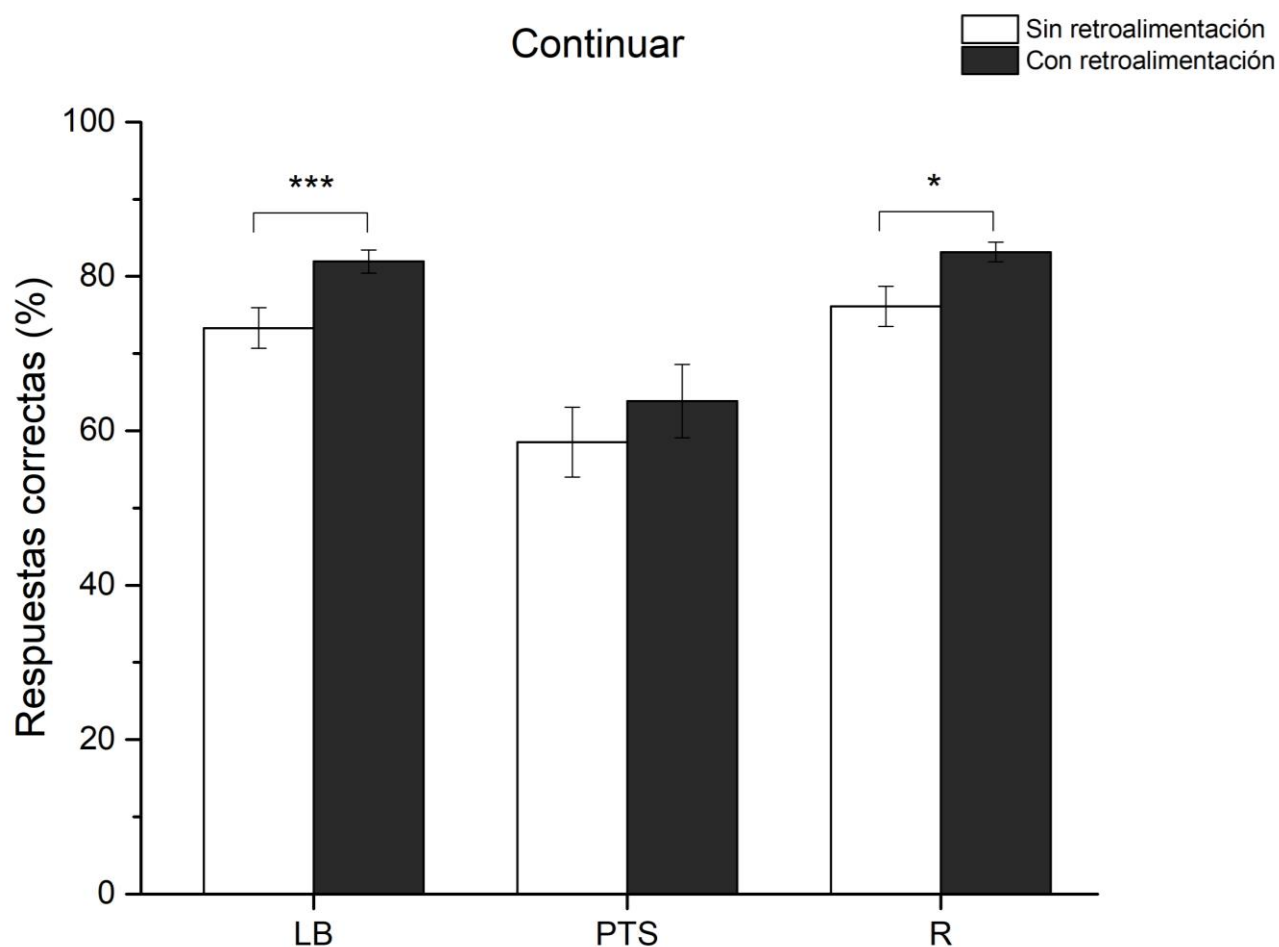


Figura 10. Comparación entre la sección sin retroalimentación y con retroalimentación externa en la capacidad de continuar durante cada condición de sueño. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

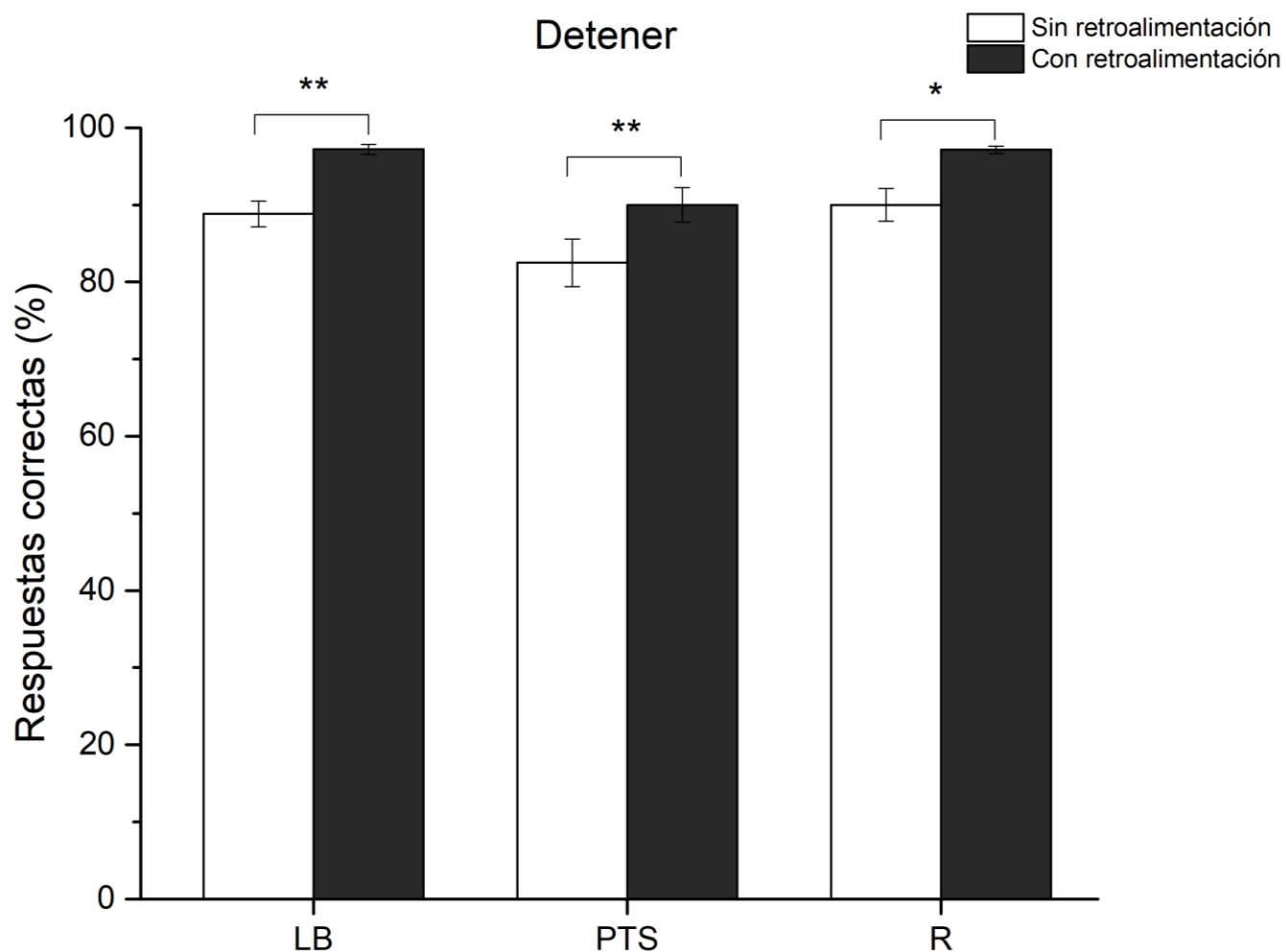


Figura 11. Comparación entre la sección sin retroalimentación y con retroalimentación externa en la capacidad de detener durante cada condición de sueño. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

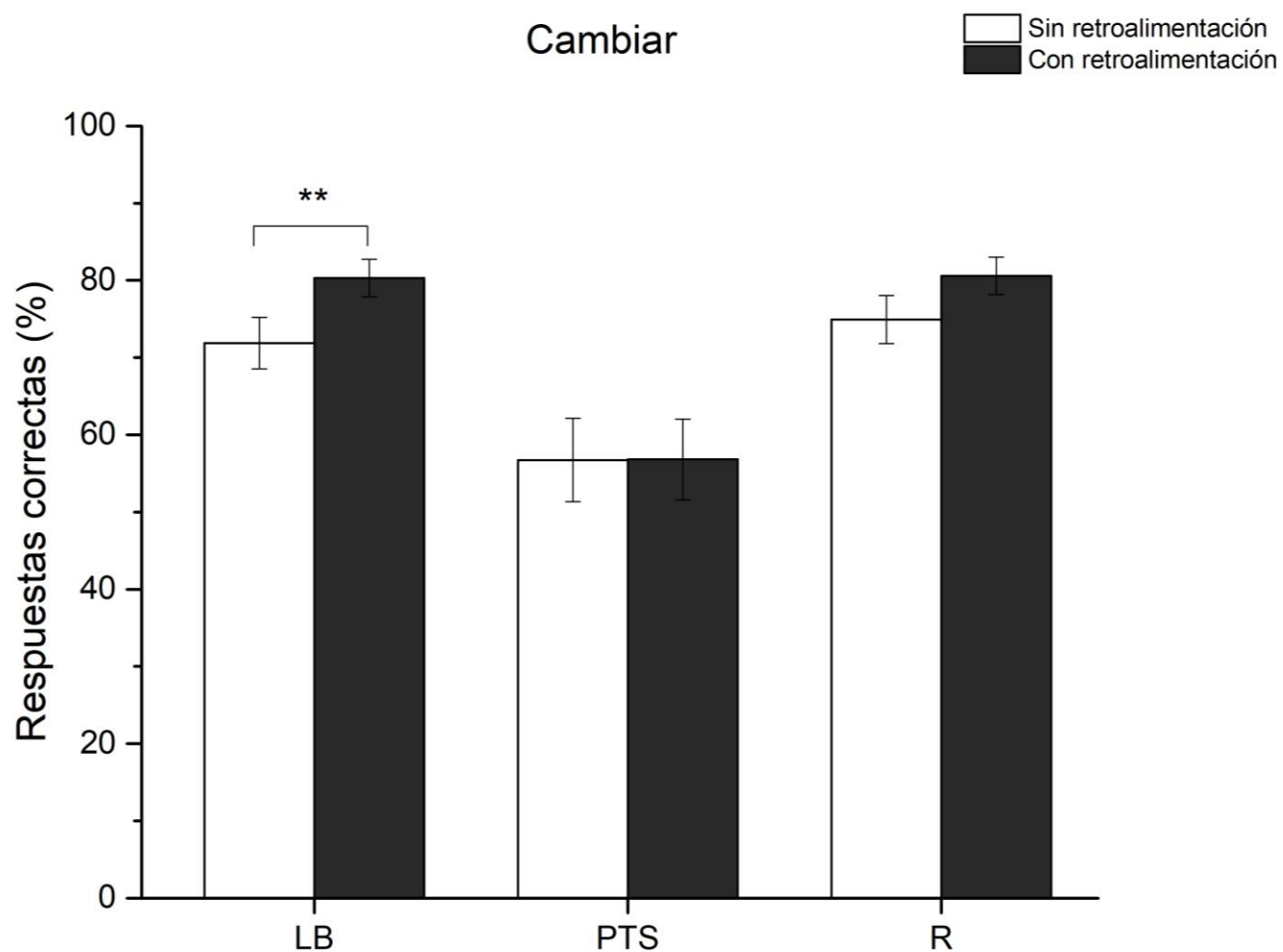


Figura 12. Comparación entre la sección sin retroalimentación y con retroalimentación externa en la capacidad de cambiar durante cada condición de sueño. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

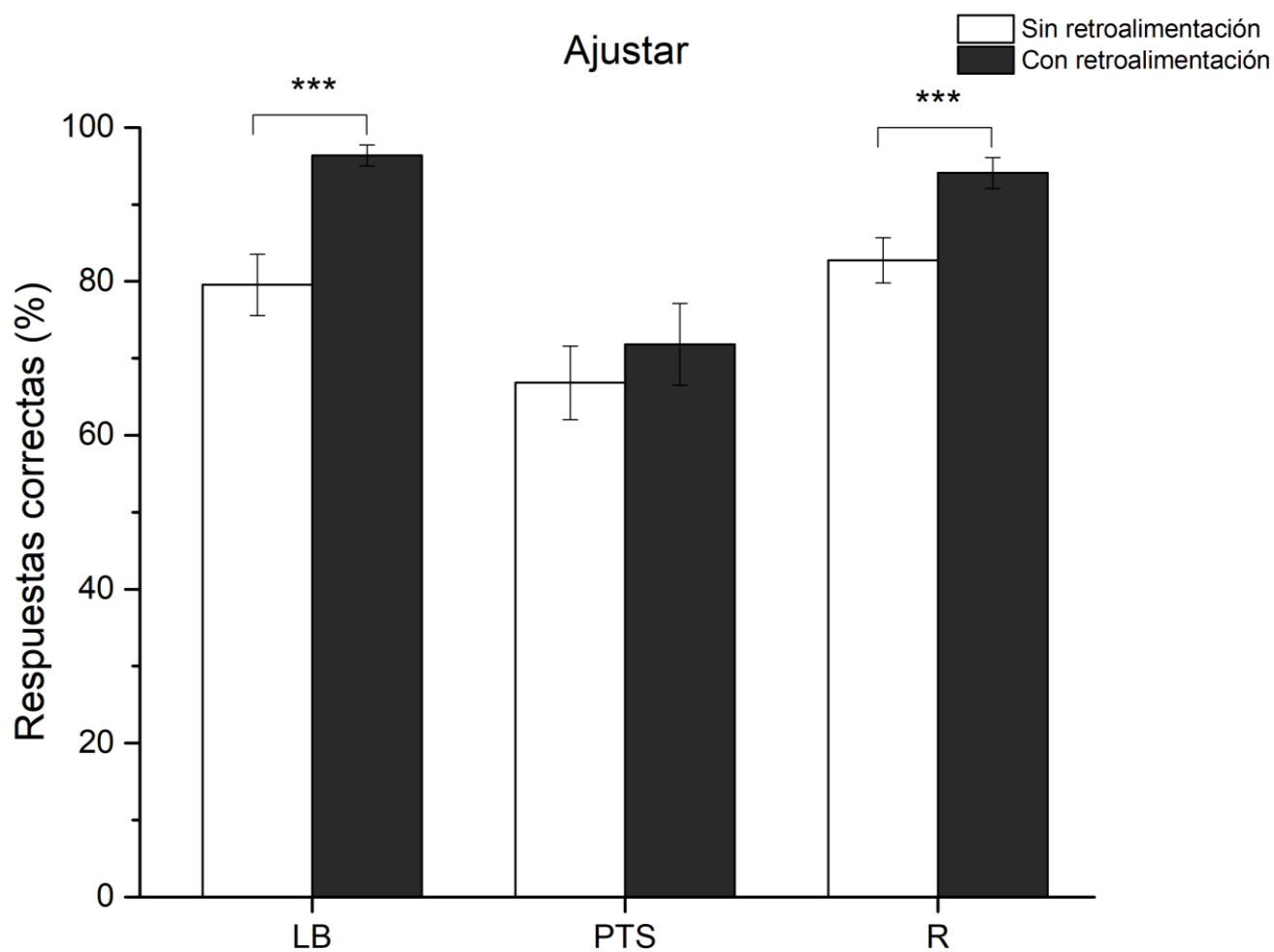


Figura 13. Comparación entre la sección sin retroalimentación y con retroalimentación externa en la capacidad de ajustar durante cada condición de sueño. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Retroalimentación verbal inmediata. En esta sección se describen los resultados de los componentes de detección y comparación a partir de los indicadores de la retroalimentación verbal inmediata de cada tipo de modificación de respuesta.

Se observó una disminución en el porcentaje de retroalimentación correcta de aciertos (respuestas correctas en las que el participante respondió “sí”) durante la privación total de sueño en los siguientes tipos de modificación: continuar, detener y cambiar. La privación total de sueño disminuyó la capacidad de los participantes para detectar y comparar el efecto de sus modificaciones cuando eran respuestas correctas (Tabla 8).

Se encontró un aumento en el porcentaje de la retroalimentación correcta de errores (respuestas incorrectas en las que el participante respondió “no”) durante la privación total de sueño en comparación con las condiciones de línea base y recuperación, de los siguientes tipos de modificación: continuar y cambiar. Esto indica que la privación total de sueño aumentó la capacidad de los participantes para detectar y comparar el efecto de las modificaciones mencionadas cuando eran respuestas incorrectas. Por otro lado, no se encontraron diferencias significativas entre las condiciones de sueño en el porcentaje de la retroalimentación correcta de errores del tipo de modificación de detener. En cambio, se observó un aumento en el porcentaje de retroalimentación incorrecta de aciertos (respuestas correctas en las que el participante respondió “no”) cuando los participantes debían detener sus respuestas durante la privación total de sueño en comparación con las condiciones de línea base y recuperación. Esto indica que la privación total de sueño disminuyó la capacidad de los participantes para detectar y comparar el efecto de sus respuestas cuando debían

detenerlas, aunque hayan sido respuestas correctas.

Además, se encontró un aumento en el porcentaje de omisiones durante la privación total de sueño en comparación con las condiciones de línea base y recuperación en los siguientes tipos de modificación: continuar (Figura 14), detener (Figura 15) y cambiar (Figura 16). Esto indica que la privación total de sueño disminuyó la capacidad de los participantes para dar una respuesta verbal ante los estímulos de la sección de retroalimentación verbal inmediata.

Tabla 8. Análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas. Comparaciones post hoc entre las condiciones de sueño de la retroalimentación verbal inmediata

Tipo de modificación	LB	PTS	R	F
Continuar				
RCA (%)	72.14 ± 18.12	55.89 ± 26.23*	76.61 ± 13.18	5.99**
RCE (%)	05.89 ± 07.97	15.00 ± 12.57*	06.07 ± 07.95	5.71**
RIE (%)	16.96 ± 11.81	13.75 ± 10.05	13.75 ± 08.13	0.67 NS
RIA (%)	04.64 ± 05.92	04.46 ± 05.54	02.32 ± 03.71	1.25 NS
Omisiones (%)	00.36 ± 01.10	10.89 ± 18.56*	01.25 ± 04.06	5.65**
Detener				
RCA (%)	79.46 ± 13.21	64.82 ± 25.10*	83.04 ± 13.36	5.68**
RCE (%)	05.54 ± 07.00	08.39 ± 06.58	05.18 ± 06.50	1.38 NS
RIE (%)	06.96 ± 07.37	05.89 ± 04.95	04.64 ± 06.36	0.67 NS
RIA (%)	07.32 ± 06.60	11.79 ± 11.18*	05.00 ± 05.61	3.56*
Omisiones (%)	01.07 ± 02.04	10.54 ± 16.97*	01.79 ± 04.41	5.34**
Cambiar				
RCA (%)	56.43 ± 21.45	42.14 ± 27.07*	65.71 ± 22.72	4.95*
RCE (%)	16.96 ± 15.19	30.18 ± 17.74*	15.00 ± 11.03	6.12**
RIE (%)	21.96 ± 12.65	15.54 ± 11.72	16.25 ± 11.96	1.69 NS
RIA (%)	03.57 ± 05.31	01.61 ± 02.16	01.25 ± 02.90	2.27 NS
Omisiones (%)	01.07 ± 02.04	10.54 ± 16.97*	01.79 ± 04.41	5.34**

Los valores son promedio ± desviación estándar. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación, RCA= retroalimentación correcta de aciertos, RCE= retroalimentación correcta de errores, RIE= retroalimentación incorrecta de errores, RIA= retroalimentación incorrecta de aciertos, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001. NS = no significativo.

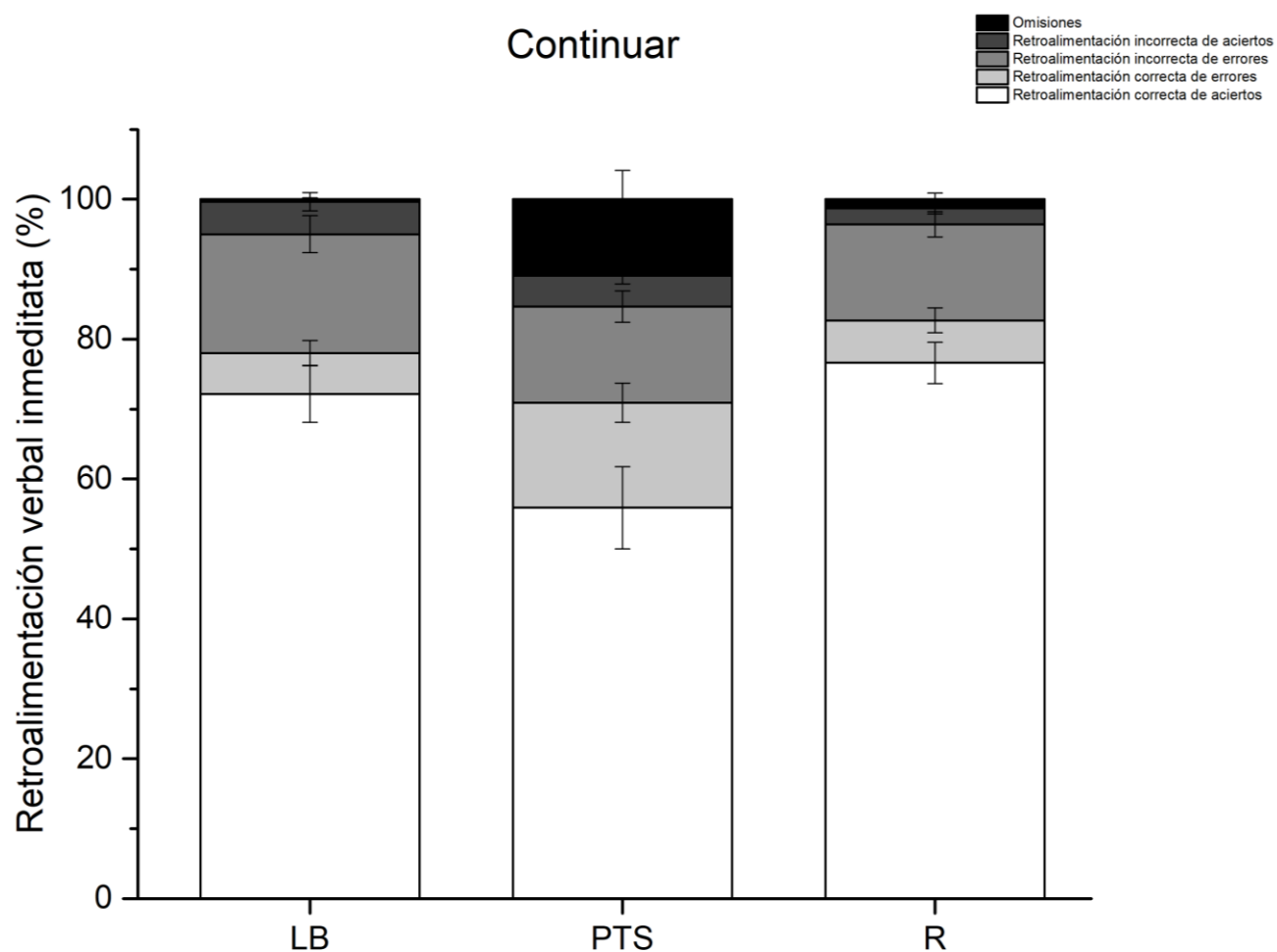


Figura 14. Indicadores de la retroalimentación verbal inmediata en la capacidad de continuar durante cada condición de sueño. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación.

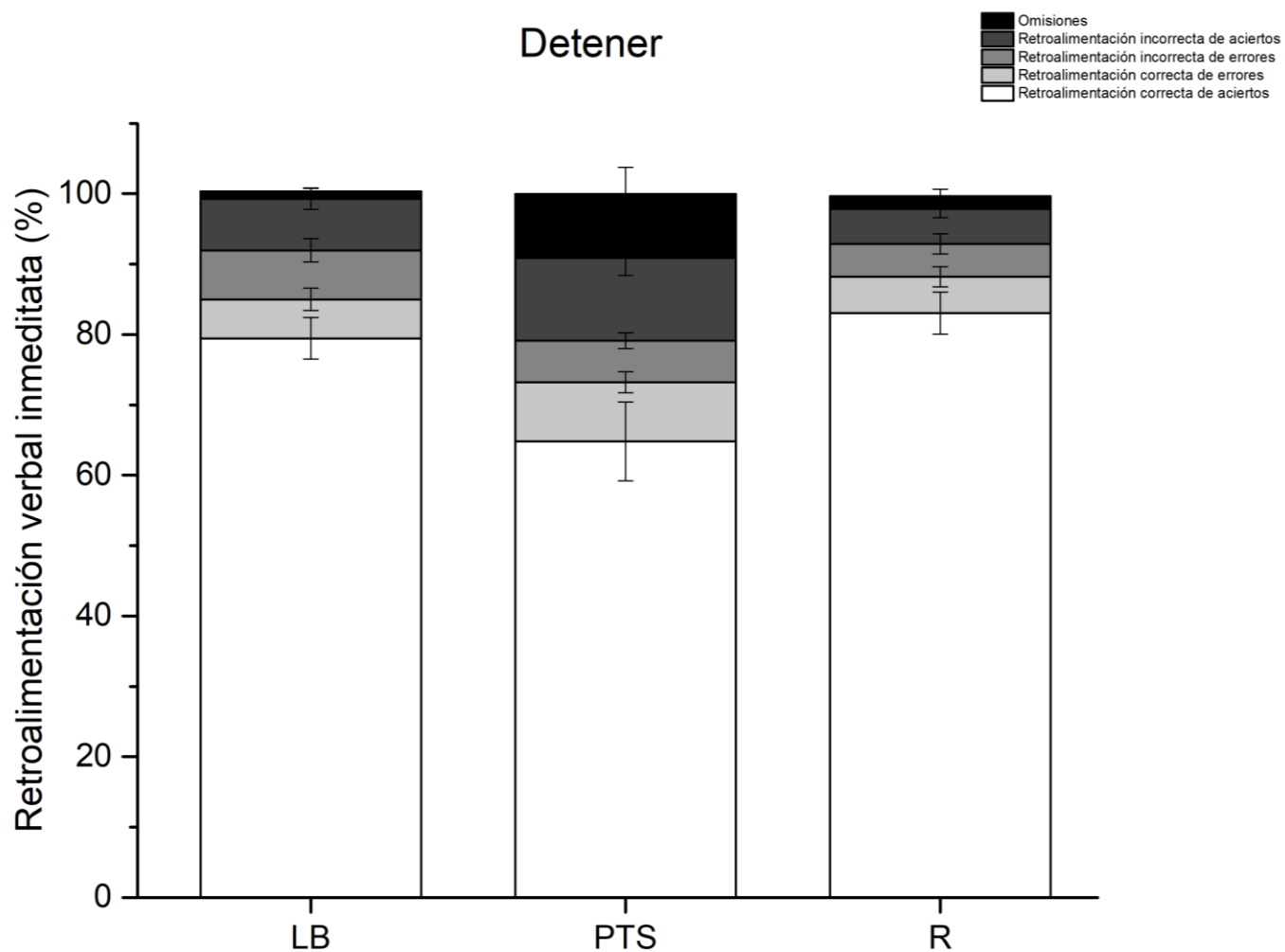


Figura 15. Indicadores de la retroalimentación verbal inmediata en la capacidad de detener durante cada condición de sueño. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación.

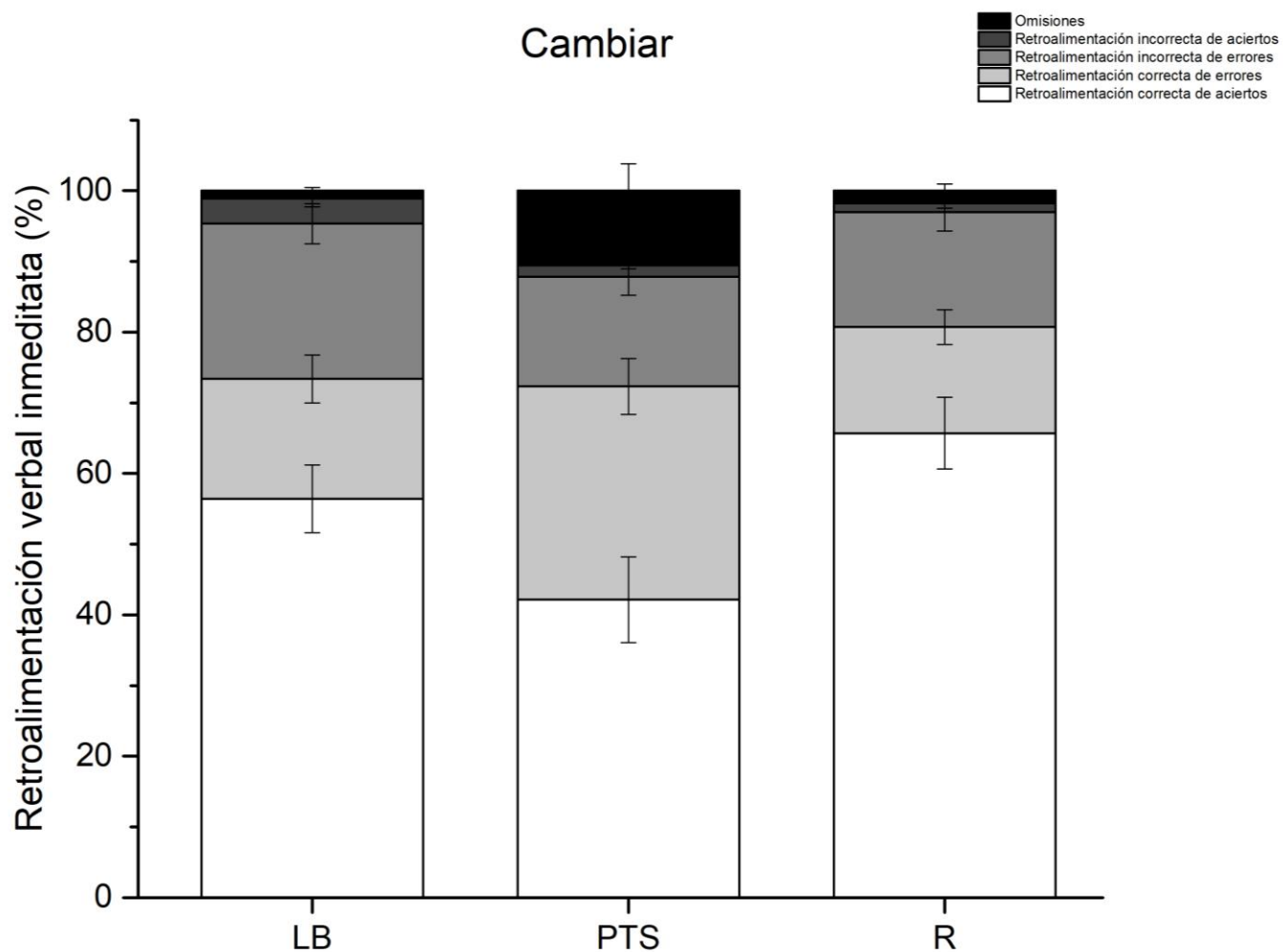


Figura 16. Indicadores de la retroalimentación verbal inmediata en la capacidad de cambiar durante cada condición de sueño. LB= línea base, PTS= privación total de sueño, R= recuperación.

V. DISCUSIÓN

De acuerdo con los resultados de este estudio, se determinó que la privación total de sueño reduce la eficiencia de los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. En esta sección se discutirán los efectos específicos de la privación total de sueño en los componentes de modificación, detección y comparación de las funciones ejecutivas, así como sus implicaciones. Por último, se plantean las conclusiones de este estudio.

Efectos de la privación total de sueño en el componente de modificación

El componente de modificación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas que se describe en el presente modelo se puede dividir en los siguientes tipos de modificación de respuesta: continuar, detener, cambiar y ajustar. El primer objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la privación total de sueño en el componente de modificación. La hipótesis que se planteó fue que la privación total de sueño reduce la eficiencia de todos los tipos de modificación de respuesta. A partir de los resultados obtenidos en la sección sin retroalimentación de la tarea de seguimiento modificada, se confirmó la hipótesis de que la privación total de sueño reduce la eficiencia en la capacidad que tienen las personas para continuar, detener, cambiar y ajustar sus respuestas.

Existen estudios que reportan que la privación de sueño de más de 24 horas reduce la capacidad de las personas para continuar y detener sus respuestas en tareas de respuesta/no respuesta (en inglés: go/no-go task). En este tipo de tareas los participantes deben iniciar una respuesta ante un estímulo y detener su respuesta ante

otros estímulos menos frecuentes, por lo que este tipo de tareas se pueden utilizar para evaluar la capacidad de los participantes para continuar y detener sus respuestas. De forma específica, se ha documentado que la privación de sueño disminuye el porcentaje de respuestas correctas ante los estímulos en los que los participantes deben iniciar una respuesta (Nieuwenhuys et al., 2025). Otros estudios solamente reportan que la privación de sueño reduce la eficiencia general de las respuestas de los participantes en tareas de respuesta/no respuesta. En dichos estudios se toma como indicador la eficiencia general, es decir, la suma entre el porcentaje de respuestas correctas ante los estímulos en los que se requiere iniciar una respuesta y ante los estímulos en los que se requiere detener una respuesta (Chua et al., 2017). En cambio, los resultados de este estudio demuestran que la privación de 24 horas reduce de forma específica la capacidad de las personas para continuar una respuesta. Además, se ha reportado que la privación total de sueño reduce la capacidad para detener las respuestas en el mismo tipo de tareas de respuesta/no respuesta.

Diversos estudios han reportado un aumento en el porcentaje de errores de comisión ante los estímulos en los que los participantes debían detener sus respuestas durante la privación de sueño (Bocca et al., 2014; Bratzke et al., 2012; Gosselin et al., 2019; Magnuson et al., 2022). Estos resultados concuerdan con los resultados de este trabajo, en el cual se observa que la privación total de sueño reduce el porcentaje de respuestas correctas ante los estímulos en los que los participantes debían detener sus respuestas.

Se han reportado resultados contradictorios entre los estudios que han analizado el efecto de la privación de sueño en la capacidad para cambiar las respuestas. Dos

estudios documentaron los efectos de la privación de sueño en la capacidad para cambiar las respuestas utilizando una tarea de cambio de respuesta (en inglés: “task switching paradigm”). Zhang (2024) encontró que la privación de sueño aumenta el porcentaje de errores en los ensayos en los que se requiere cambiar de tarea. Sin embargo, Heuer (2004) no encontró diferencias significativas en la eficiencia de respuesta ante los estímulos en los que los participantes debían cambiar sus respuestas entre condiciones de sueño normales y la privación de sueño.

Otros estudios han medido la capacidad para cambiar las respuestas utilizando versiones modificadas de la tarea Stroop. En esta tarea es necesario alternar entre diferentes respuestas según una indicación previa. Por ejemplo, en algunos ensayos los participantes deben nombrar el color de la tinta de la palabra que se les presenta y en otros leer la palabra. En estos estudios se utiliza la diferencia en el porcentaje de errores entre los ensayos en los que se debe continuar con la misma respuesta y aquellos en los que es necesario cambiarla como indicador de la capacidad para cambiar las respuestas. Se ha documentado que la privación de sueño reduce la capacidad para cambiar las respuestas utilizando versiones modificadas de la tarea Stroop (Grant et al., 2018; O’Hagan et al., 2018; Slama et al., 2018). Sin embargo, otros estudios no han encontrado diferencias significativas en la capacidad para cambiar las respuestas en este tipo de tareas durante la privación total de sueño (García et al., 2021; Pourhassan et al., 2023; Şen et al., 2023). Es posible que la inconsistencia en los resultados de los estudios que han analizado los efectos de la privación de sueño sobre la capacidad para cambiar las respuestas se deba a los siguientes motivos: 1) la falta de consenso teórico acerca de la capacidad para cambiar las respuestas, que también

se le ha denominado flexibilidad cognitiva (Monsell, 2003), lo cual provoca que 2) las tareas neuropsicológicas que se diseñan para medir dicha capacidad evalúen otros procesos cerebrales simultáneamente como las capacidades para detener y cambiar las respuestas (Friedman & Miyake, 2017; Hinss et al., 2024). Por el contrario, este estudio analizó de forma específica las capacidades para continuar, detener, cambiar y ajustar las respuestas en una misma tarea neuropsicológica, lo que permitió diferenciar con mayor precisión cada operación y generar una interpretación más delimitada de los efectos de la privación total de sueño en estas capacidades.

Un estudio previo reportó que la privación de sueño redujo la capacidad de los participantes para ajustar sus respuestas ante los cambios en la trayectoria de los estímulos durante la aplicación de una tarea de seguimiento modificada (García et al., 2016). En este tipo de tareas los participantes deben responder ante los estímulos que se presentan en una pantalla de computadora y ajustar sus respuestas cuando estos cambian de trayectoria o velocidad. Estos resultados coinciden con el efecto de la privación total de sueño en la capacidad para ajustar las respuestas que se observó en este estudio.

Efectos de la privación total de sueño en el componente de detección y comparación

Retroalimentación externa

El siguiente objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la privación total de sueño en el componente de detección y comparación de las funciones ejecutivas a partir de la retroalimentación externa. La hipótesis que se planteó fue que la privación

total de sueño reduce el componente de detección y comparación de las funciones ejecutivas en todos los tipos de modificación de respuesta. La reducción de dicha capacidad implica que los participantes no sean capaces de utilizar la retroalimentación externa para aumentar la eficiencia de sus respuestas. Los resultados obtenidos en la sección con retroalimentación externa de la tarea de seguimiento modificada comprueban la hipótesis de que la privación total de sueño reduce el componente de detección y comparación en los siguientes tipos de modificación de respuesta: continuar, cambiar y ajustar. Sin embargo, se observó que la retroalimentación externa contrarresta los efectos de la privación total de sueño sobre el componente de detección y comparación cuando las personas deben detener sus respuestas.

En este trabajo se observó que la retroalimentación externa aumenta la eficiencia de respuesta en condiciones normales de sueño cuando las personas deben continuar, detener, cambiar y ajustar sus respuestas. Estos resultados son congruentes con los resultados de estudios que han reportado que la retroalimentación externa beneficia la ejecución de los participantes en diversas tareas neuropsicológicas desde una perspectiva psicológica (Adam & Vogel, 2018; Giamos et al., 2024; Kluger & DeNisi, 1996; Maddox et al., 2003). No se han identificado estudios previos que analicen de forma diferenciada el efecto de la retroalimentación externa en cada uno de los tipos de modificación de respuesta (continuar, detener, cambiar y ajustar) basándose en un modelo teórico que describe estas funciones como procesos cerebrales como se hizo en este trabajo, lo que constituye una contribución relevante para comprender con mayor precisión el papel de la retroalimentación externa en la regulación del comportamiento.

Por otro lado, se han documentado resultados contradictorios entre los estudios que han analizado los efectos de la privación total de sueño sobre la ejecución de los participantes cuando reciben retroalimentación externa. Whitney (2015) y Honn (2019) determinaron que la privación de sueño disminuye el efecto de la retroalimentación externa sobre la ejecución de los participantes. Estos estudios utilizaron tareas neuropsicológicas que requerían que los participantes ejecutaran diferentes operaciones como cambiar entre reglas de respuesta (tareas de cambio de respuesta) y detener sus respuestas (tareas de respuesta–no respuesta). Estos resultados son congruentes con el efecto de la privación de sueño en la retroalimentación externa que se observó en este estudio para los siguientes tipos de modificación de respuesta: continuar, cambiar y ajustar. En cambio, otros estudios han reportado que la retroalimentación externa contrarresta los efectos de la privación de sueño en la ejecución de los participantes. En dichos estudios se utilizaron tareas de tiempo de reacción y tareas de vigilancia en las cuales se requiere que los participantes respondan ante la aparición de un estímulo (Jaśkowski & Włodarczyk, 1997; Roach et al., 2016; Steyvers & Gaillard, 1993). Los resultados de estos estudios son similares a los resultados que se obtuvieron en este trabajo en la capacidad para detener las respuestas cuando se les proporcionó retroalimentación externa de su ejecución a los participantes. Una posible explicación en la similitud de estos resultados es que la retroalimentación externa contrarresta los efectos de la privación de sueño cuando la actividad que se debe ejecutar requiere de la ejecución de una sola operación como las tareas de tiempo de reacción o las tareas en las que se requiere detener una respuesta. Esto podría significar que la capacidad para detener las respuestas requiere

solamente una operación para ejecutarse, lo que podría explicar por qué la retroalimentación externa contrarresta la reducción en dicha capacidad durante la privación total de sueño. En contraste, las capacidades para continuar, cambiar y ajustar las respuestas no se benefician de la retroalimentación externa durante la privación total de sueño porque podrían requerir la ejecución de dos operaciones: detener una respuesta y activar una respuesta diferente (Scheil & Kleinsorge, 2023).

Retroalimentación verbal inmediata

Otro objetivo de este estudio fue determinar el efecto de la privación total de sueño en el componente de detección y comparación a partir de la retroalimentación verbal inmediata. La hipótesis que se planteó fue que la privación total de sueño reduce la capacidad para detectar y comparar el efecto de las propias respuestas con un objetivo. La reducción de esta capacidad implica la disminución en el porcentaje de la retroalimentación correcta de aciertos y errores, así como en el aumento de la retroalimentación incorrecta de aciertos y errores. De acuerdo con los resultados en la sección con retroalimentación verbal inmediata de la tarea de seguimiento modificada, se confirmó la hipótesis de que la privación de sueño por 24 horas disminuye la capacidad de las personas para detectar y comparar el efecto que tienen sus respuestas con un objetivo. Sin embargo, se determinó un patrón diferente en el efecto de la privación total de sueño entre la retroalimentación de aciertos y la retroalimentación de errores en los diferentes tipos de modificación de respuesta. A continuación, se discuten estos resultados.

En este estudio se observó que la privación total de sueño reduce el porcentaje en la retroalimentación correcta de aciertos en todos los tipos de modificación de

respuesta. Esto implica que la capacidad de los participantes para detectar que sus respuestas eran correctas disminuyó durante la privación total de sueño. Además, la privación total de sueño aumentó el porcentaje en la retroalimentación incorrecta de aciertos en la capacidad para detener las respuestas. Esto implica que los participantes detectaban que sus respuestas eran incorrectas cuando habían respondido de forma eficiente. Diversos estudios han utilizado escalas en las que los participantes deben estimar el porcentaje de respuestas correctas que obtuvieron al final de la aplicación de tareas de memoria de trabajo y tareas de razonamiento lógico (Blagrove & Akehurst, 2000; Boardman et al., 2018). Estos estudios encontraron que la privación total de sueño disminuye el juicio subjetivo de los participantes en su propia ejecución. Sin embargo, otros estudios no encuentran diferencias significativas entre el juicio subjetivo y la eficiencia de las respuestas dependiendo de la tarea que se utiliza para evaluar a los participantes (Baranski, 2007; Baranski et al., 1994, 2002). Una posible explicación en la incongruencia de estos resultados es que estos estudios 1) utilizaron escalas analógicas o escalas tipo Likert en la que los participantes debían proporcionar retroalimentación de su ejecución antes o después de desempeñar diferentes tipos de tareas. Este tipo de procedimiento no permite analizar la detección y comparación que las personas hacen acerca de la eficiencia de sus respuestas de forma inmediata. Por ello, lo que evalúan estos estudios es el juicio subjetivo de los participantes, lo cual puede variar por el tiempo que transcurrió entre ejecutar la tarea y proporcionar la retroalimentación de su ejecución. 2) Estos estudios utilizaron diferentes tipos de tareas en las que los participantes tenían que proporcionar retroalimentación de su ejecución durante la privación total de sueño, lo cual puede indicar que la detección de aciertos

es diferente debido a los distintos tipos de tareas que se utilizaron. En cambio, en este trabajo se les solicitó a los participantes que proporcionaran una retroalimentación inmediata de su ejecución en una misma tarea neuropsicológica que mide diferentes tipos de modificación de respuesta. Por ello, este estudio fue capaz de determinar los efectos específicos de la privación total de sueño en la capacidad para detectar y comparar el efecto tanto de sus aciertos como de sus errores en todos los tipos de modificación de respuesta.

Por otro lado, se encontró que la privación total de sueño aumenta el porcentaje en la retroalimentación correcta de errores en los siguientes tipos de modificación de respuesta: continuar y cambiar. Esto implica que los participantes fueron capaces de detectar correctamente cuando cometían un error al continuar o cambiar sus respuestas durante la privación total de sueño. Sin embargo, aunque los participantes detectaban correctamente que sus respuestas eran errores, su eficiencia no mejoró cuando estaban privados de sueño. Un estudio analizó la capacidad de las personas para detectar sus errores utilizando una tarea Stroop computarizada y no encontraron diferencias significativas entre la condición de línea base (9 horas de sueño) y la privación total de sueño. La tarea Stroop computarizada que utilizaron consistía en la presentación de palabras de un color determinado (por ejemplo: “rojo”), en el mismo o diferente color de fuente. Los participantes debían presionar una tecla ante los estímulos incongruentes (la palabra y el color no coincide), detener su respuesta ante los estímulos congruentes (la palabra y el color coincide) y detener su respuesta si la palabra era la misma que en el ensayo anterior. Además, los participantes debían presionar otra tecla cuando detectaban que habían cometido un error en los ensayos

que requerían detener su respuesta (Boardman et al., 2024). Sin embargo, los resultados del presente trabajo no pueden compararse directamente con los hallazgos de Boardman (2024) por la diferencia en las tareas que se utilizaron. En el estudio de Boardman los participantes debían detener sus respuestas ante dos condiciones (cuando los estímulos eran congruentes y cuando los estímulos coincidían con el ensayo previo) y continuar cuando los estímulos eran incongruentes. En contraste, en la tarea que se utilizó en esta investigación los participantes debían continuar, detener o cambiar sus respuestas ante diferentes tipos de estímulos.

Implicaciones

Diversos autores han establecido la existencia de variaciones homeostáticas en diversos componentes de las funciones ejecutivas. Sin embargo, estos estudios se han basado en modelos psicológicos para definir los componentes de las funciones ejecutivas. Una implicación teórica importante de este trabajo es que se analizaron las variaciones homeostáticas en las funciones ejecutivas de acuerdo con un modelo cerebral. El modelo cerebral de las funciones ejecutivas que se usó en este trabajo se basa en las operaciones de los mecanismos de programación y regulación de otros sistemas mecánicos y biológicos para plantear una nueva explicación acerca de cómo los seres vivos programan y regulan su comportamiento. En base a lo anterior, el presente modelo permite explicar los mecanismos cerebrales de programación y regulación del comportamiento que ocurren ante la interacción de los seres vivos con el ambiente. Esta propuesta elimina las explicaciones que plantean los modelos psicológicos en los cuales atribuyen características humanas a las funciones ejecutivas

como los modelos de la Psicología que describen estas funciones como procesos de “supervisión” y “control” (Baddeley & Hitch, 1974; Norman & Shallice, 1986; Posner & Rothbart, 1998), y los modelos de la Neurociencia Cognitiva que las definen como procesos de “control cognitivo” (Braver et al., 2007; Diamond, 2002; Miller & Cohen, 2001).

Otra aportación teórica relevante de este estudio es la identificación de las variaciones homeostáticas en los componentes cerebrales específicos involucrados en el mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. En la literatura científica se encuentran 18 definiciones diferentes de las funciones ejecutivas, así como 68 subcomponentes de estas funciones (Packwood et al., 2011). Esto implica que no está claro qué son en específico las funciones ejecutivas, ni cuáles son sus componentes. Además, los subcomponentes que se han propuesto corresponden a descripciones del desempeño en las tareas que se usan para evaluar las funciones ejecutivas (Packwood et al., 2011). Por el contrario, el modelo cerebral de las funciones ejecutivas utilizado en este estudio establece componentes cerebrales concretos del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. Por su parte, el mecanismo de regulación incluye tres componentes cerebrales: detección, comparación y modificación. La delimitación de estos componentes cerebrales sintetiza los términos clásicos que se han utilizado en la literatura sobre funciones ejecutivas, lo cual permite que la explicación de la regulación del comportamiento sea compatible con la regulación de otras actividades fisiológicas. De acuerdo con esto, el uso de términos clásicos como “planeación”, “inhibición” y “flexibilidad” son insuficientes para explicar la capacidad que tienen los seres vivos para regular su comportamiento. De hecho, estos términos

describen el resultado del comportamiento, así como la interpretación psicológica del participante y de los evaluadores que aplican las tareas que se usan para medir las funciones ejecutivas. Por el contrario, en este estudio se usó una tarea para analizar la existencia de variaciones homeostáticas en todos los tipos de modificación de respuesta: continuar, detener, cambiar y ajustar. Esto significa que la acumulación de las horas en vigilia reduce la capacidad de los humanos para modificar sus respuestas cuando no coinciden con el objetivo de la actividad que desempeñan. Por ejemplo, si un médico de guardia nocturna se encuentra privado de sueño y debe llevar a cabo diferentes actividades en las que deben modificar continuamente sus respuestas para realizarlas con éxito como atender a pacientes hospitalizados o en urgencias, es posible que cometa más errores cuando deba continuar, detener, cambiar o ajustar sus respuestas. El ejemplo anterior se puede generalizar para los trabajadores de otras profesiones con horarios nocturnos, trabajadores con horarios rotativos y estudiantes que pasan una noche completa sin dormir.

De acuerdo con el análisis del efecto de la retroalimentación externa, este estudio encontró que la privación total de sueño reduce las capacidades para continuar, cambiar y ajustar las respuestas incluso cuando las personas reciben retroalimentación externa. Esto constituye una aportación teórica debido a que se determinó que la capacidad de los humanos para detectar y comparar el efecto de sus propias respuestas presenta variaciones homeostáticas en los tipos de modificación mencionados. Esto significa que la acumulación del tiempo en vigilia reduce la capacidad de las personas para utilizar la retroalimentación externa que producen sus propias respuestas. Por lo tanto, si una persona privada de sueño se encuentra

realizando una actividad que requiere generar diversas modificaciones en sus respuestas como resolver un problema académico o laboral o tomar una decisión crítica, no será capaz de responder eficientemente cuando deba continuar, cambiar y ajustar sus respuestas, aunque reciba información adicional del efecto de sus respuestas. Por el contrario, la retroalimentación externa aumentó la capacidad de las personas para detener sus respuestas durante la privación total de sueño. Estos resultados indican que la capacidad para detectar y comparar los efectos de las propias respuestas al detener una respuesta no presenta variaciones homeostáticas.

Con base en el análisis de la retroalimentación verbal inmediata de este estudio, se observó que los efectos de la privación total de sueño fueron diferentes según el tipo de retroalimentación que proporcionaron los participantes y el tipo de modificación de respuesta que debían ejecutar. Estos resultados aportan evidencia de que la detección de aciertos y la detección de errores presentan variaciones homeostáticas con patrones distintos. Asimismo, estas variaciones cambian según el tipo de modificación de respuesta que ejecutan las personas. Por lo tanto, esto sugiere que la detección de aciertos y errores en cada tipo de modificación de respuesta podría depender de mecanismos cerebrales diferentes. Esto se ha planteado en otras investigaciones en las que se encuentran cambios electrofisiológicos en diferentes áreas de la corteza prefrontal medial según si la respuesta que cometen las personas es un error o si obtiene múltiples aciertos consecutivos (Ullsperger et al., 2014).

VI. CONCLUSIONES

Las conclusiones de este estudio son las siguientes:

1. El componente de modificación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas presenta variaciones homeostáticas. Cuando las personas se mantienen despiertas por 24 horas consecutivas se reduce su capacidad para continuar, detener, cambiar y ajustar sus respuestas.
2. Los componentes de detección y comparación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas presentan variaciones homeostáticas en función del tipo de modificación de respuesta. Cuando las personas se mantienen despiertas por 24 horas seguidas se reduce su capacidad para detectar y comparar el efecto de la retroalimentación externa cuando deben continuar, cambiar y ajustar sus respuestas, pero no cuando deben detener sus respuestas.
3. Los componentes de detección y comparación del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas presentan variaciones homeostáticas según si la respuesta es un acierto o un error. Cuando las personas permanecen en vigilia por 24 horas se disminuye su capacidad para detectar que sus respuestas son correctas en todos los tipos de modificación de respuesta. Por otro lado, la capacidad de las personas para detectar que sus respuestas son errores aumenta durante la privación de sueño cuando deben continuar y cambiar sus respuestas, pero no cuando deben detener sus respuestas.
4. En resumen, este estudio demuestra que el sueño es un estado fisiológico esencial en los procesos cerebrales humanos, específicamente en las

capacidades para detectar, comparar y modificar las respuestas.

VI. REFERENCIAS

- Adam, K. C. S., & Vogel, E. K. (2018). Improvements to visual working memory performance with practice and feedback. *PLOS ONE*, 13(8), e0203279. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203279>
- Aernout, E., Benradia, I., Hazo, J.-B., Sy, A., Askevis-Leherpeux, F., Sebbane, D., & Roelandt, J.-L. (2021). International study of the prevalence and factors associated with insomnia in the general population. *Sleep Medicine*, 82, 186–192. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2021.03.028>
- Albin, R. L., Young, A. B., & Penney, J. B. (1989). The functional anatomy of basal ganglia disorders. *Trends in Neurosciences*, 12(10), 366–375. [https://doi.org/10.1016/0166-2236\(89\)90074-X](https://doi.org/10.1016/0166-2236(89)90074-X)
- Alhola, P., & Polo-Kantola, P. (2007). Sleep deprivation: Impact on cognitive performance. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 3(5), 553–567. <https://doi.org/10.2147/ndt.s12160203>
- Aron, A. (2007). The neural basis of inhibition in cognitive control. *The Neuroscientist : a review journal bringing neurobiology, neurology and psychiatry*, 13(3), 214–228. <https://doi.org/10.1177/1073858407299288>
- Babkoff, H., Zukerman, G., Fostick, L., & Ben-Artzi, E. (2005). Effect of the diurnal rhythm and 24 h of sleep deprivation on dichotic temporal order judgment. *Journal of Sleep Research*, 14(1), 7–15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2004.00423.x>
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47–89. [https://doi.org/10.1016/s0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/s0079-7421(08)60452-1)
- Banks, S., & Dinges, D. F. (2007). Behavioral and physiological consequences of sleep

- restriction. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 3(5), 519–528.
<https://doi.org/10.5664/jcsm.26918>
- Baranski, J. V. (2007). Fatigue, sleep loss, and confidence in judgment. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 13(4), 182–196. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.13.4.182>
- Baranski, J. V., Gil, V., McLellan, T. M., Moroz, D., Buguet, A., & Radomski, M. (2002). Effects of modafinil on cognitive performance during 40 hr of sleep deprivation in a warm environment. *Military Psychology*, 14(1), 23–47.
https://doi.org/10.1207/S15327876MP1401_02
- Baranski, J. V., Pigeau, R. A., & Angus, R. G. (1994). On the ability to self-monitor cognitive performance during sleep deprivation: A calibration study. *Journal of Sleep Research*, 3(1), 36–44. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.1994.tb00102.x>
- Bell, T., Lindner, M., Langdon, A., Mullins, P. G., & Christakou, A. (2019). Regional striatal cholinergic involvement in human behavioral flexibility. *The Journal of Neuroscience*, 39(29), 5740–5749. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2110-18.2019>
- Bixler, E. O., Kales, A., Soldatos, C. R., Kales, J. D., & Healey, S. (1979). Prevalence of sleep disorders in the Los Angeles metropolitan area. *The American Journal of Psychiatry*, 136(10), 1257–1262. <https://doi.org/10.1176/ajp.136.10.1257>
- Blagrove, M., & Akehurst, L. (2000). Effects of sleep loss on confidence-accuracy relationships for reasoning and eyewitness memory. *Journal of experimental psychology. Applied*, 6, 59–73. <https://doi.org/10.1037//1076-898X.6.1.59>
- Boardman, J. M., Bei, B., Mellor, A., Anderson, C., Sletten, T. L., & Drummond, S. P. A.

- (2018). The ability to self-monitor cognitive performance during 60 h total sleep deprivation and following 2 nights recovery sleep. *Journal of Sleep Research*, 27(4), 1–8. <https://doi.org/10.1111/jsr.12633>
- Boardman, J. M., Cross, Z. R., Bravo, M. M., Andrillon, T., Aidman, E., Anderson, C., & Drummond, S. P. A. (2024). Awareness of errors is reduced by sleep loss. *Psychophysiology*, 61(5), e14523. <https://doi.org/10.1111/psyp.14523>
- Bocca, M. L., Marie, S., & Chavoix, C. (2014). Impaired inhibition after total sleep deprivation using an antisaccade task when controlling for circadian modulation of performance. *Physiology & Behavior*, 124, 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.10.024>
- Borbély, A. A. (1982). A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiology*, 1(3), 195–204. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jsr.13598>
- Borbély, A. A., & Achermann, P. (1999). Sleep homeostasis and models of sleep regulation. *Journal of Biological Rhythms*, 14(6), 559–570. <https://doi.org/10.1177/074873099129000894>
- Borbély, A. A., Baumann, F., Brandeis, D., Strauch, I., & Lehmann, D. (1981). Sleep deprivation: Effect on sleep stages and EEG power density in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 51(5), 483–493. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(81\)90225-X](https://doi.org/10.1016/0013-4694(81)90225-X)
- Borbély, A. A., Daan, S., Wirz-Justice, A., & Deboer, T. (2016). The two-process model of sleep regulation: A reappraisal. *Journal of Sleep Research*, 25(2), 131–143. <https://doi.org/10.1111/jsr.12371>
- Bratzke, D., Steinborn, M. B., Rolke, B., & Ulrich, R. (2012). Effects of sleep loss and

- circadian rhythm on executive inhibitory control in the stroop and simon tasks. *Chronobiology International*, 29(1), 55–61.
<https://doi.org/10.3109/07420528.2011.635235>
- Braver, T. S., Gray, J. R., & Burgess, G. C. (2008). Explaining the many varieties of working memory variation: Dual mechanisms of cognitive control. En A. Conway, C. Jarrold, M. Kane, A. Miyake, & J. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (Vol. 4, pp. 76–106). Oxford University Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195168648.003.0004>
- Braver, T. S., Paxton, J. L., Locke, H. S., & Barch, D. M. (2009). Flexible neural mechanisms of cognitive control within human prefrontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(18), 7351–7356.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0808187106>
- Brzezinski, A. (1997). Melatonin in humans. *The New England journal of medicine*, 336, 186–195. <https://doi.org/10.1056/NEJM199701163360306>
- Cain, S. W., Silva, E. J., Chang, A.-M., Ronda, J. M., & Duffy, J. F. (2011). One night of sleep deprivation affects reaction time, but not interference or facilitation in a Stroop task. *Brain and Cognition*, 76(1), 37–42.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2011.03.005>
- Calabresi, P., Picconi, B., Tozzi, A., Ghiglieri, V., & Filippo, M. (2014). Direct and indirect pathways of basal ganglia: A critical reappraisal. *Nature neuroscience*, 17, 1022–1030. <https://doi.org/10.1038/nn.3743>
- Cao, Y., Xie, T., & Ma, N. (2025). The impairments of sleep loss on core executive functions: General and task-specific effects. *Sleep Medicine Reviews*, 84,

102163–102163. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2025.102163>

- Choong, S. Y., Byrne, J. E. M., Drummond, S. P. A., Rispoli-Yovanovic, M., Jones, A., Lum, J. A. G., & Staiger, P. K. (2025). A meta-analytic investigation of the effect of sleep deprivation on inhibitory control. *Sleep Medicine Reviews*, 80, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.smr.2024.102042>
- Chua, E. C.-P., Fang, E., & Gooley, J. J. (2017). Effects of total sleep deprivation on divided attention performance. *PLOS ONE*, 12(11), e0187098. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187098>
- Chuah, Y. M. L., Venkatraman, V., Dinges, D. F., & Chee, M. W. L. (2006). The neural basis of interindividual variability in inhibitory efficiency after sleep deprivation. *Journal of Neuroscience*, 26(27), 7156–7162. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0906-06.2006>
- Cluydts, R., De Valck, E., Verstraeten, E., & Theys, P. (2002). Daytime sleepiness and its evaluation. *Sleep Medicine Reviews*, 6(2), 83–96. <https://doi.org/10.1053/smr.2002.0191>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Couyoumdjian, A., Sdoia, S., Tempesta, D., Curcio, G., RasTEllini, E., De Gennaro, L., & Ferrara, M. (2010). The effects of sleep and sleep deprivation on task-switching performance. *Journal of Sleep Research*, 19(1), 64–70. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2009.00774.x>
- Czeisler, C. A., Duffy, J. F., Shanahan, T. L., Brown, E. N., Mitchell, J. F., Rimmer, D. W., Ronda, J. M., Silva, E. J., Allan, J. S., Emens, J. S., Dijk, D.-J., & Kronauer, R. E.

- (1999). Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, 284, 2177–2181. <https://doi.org/10.1126/science.284.5423.2177>
- Dai, C., Zhang, Y., Cai, X., Peng, Z., Zhang, L., Shao, Y., & Wang, C. (2020). Effects of sleep deprivation on working memory: Change in functional connectivity between the dorsal attention, default mode, and fronto-parietal networks. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00360>
- Deci, E. L., Koestner, R., & Ryan, R. M. (1999). A meta-analytic review of experiments examining the effects of extrinsic rewards on intrinsic motivation. *Psychological Bulletin*, 125(6), 627–668. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.125.6.627>
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. En J. L. McClelland & R. S. Siegler (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 466–503). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.003.0029>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Dorrian, J., Rogers, N., & Dinges, D. (2005). Psychomotor vigilance performance: Neurocognitive assay sensitive to sleep loss. En A. K. Clete (Ed.), *Sleep Deprivation: Clinical Issues, Pharmacology, and Sleep Loss Effects* (1a ed., Vol. 193, pp. 39–70). Marcel Dekker. <https://doi.org/https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.3109/9780203998007-4/psychomotor-vigilance-performance-neurocognitive-assay-sensitive-sleep-loss-jillian-dorrian-naomi-rogers-david-dinges>

- Drummond, S. P. A., & Brown, G. G. (2001). The effects of total sleep deprivation on cerebral responses to cognitive performance. *Neuropsychopharmacology, Recent Advances in Sleep and Chronobiology*, 25(5(1)), 68–73. [https://doi.org/10.1016/S0893-133X\(01\)00325-6](https://doi.org/10.1016/S0893-133X(01)00325-6)
- Drummond, S. P. A., Paulus, M. P., & Tapert, S. F. (2006). Effects of two nights sleep deprivation and two nights recovery sleep on response inhibition. *Journal of Sleep Research*, 15(3), 261–265. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2006.00535.x>
- Durmer, J. S., & Dinges, D. F. (2005). Neurocognitive consequences of sleep deprivation. *Seminars in Neurology*, 25(1), 117–129. <https://doi.org/10.1055/s-2005-867080>
- Ferdinand, N. K., & Opitz, B. (2014). Different aspects of performance feedback engage different brain areas: Disentangling valence and expectancy in feedback processing. *Scientific Reports*, 4(1), 5986. <https://doi.org/10.1038/srep05986>
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2017). Unity and diversity of executive functions: Individual differences as a window on cognitive structure. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 86, 186–204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Fuster, J. M. (2002). Physiology of executive functions: The perception-action cycle. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of Frontal Lobe Function* (pp. 96–108). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195134971.003.0006>
- García, A., Angel, J. D., Borrani, J., Ramirez, C., & Valdez, P. (2021). Sleep deprivation effects on basic cognitive processes: Which components of attention, working memory, and executive functions are more susceptible to the lack of sleep? *Sleep*

- Science*, 14(2), 107–118. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20200049>
- García, A., Ramírez, C., & Valdez, P. (2016). Circadian variations in self-monitoring, a component of executive functions. *Biological Rhythm Research*, 47(1), 7–23. <https://doi.org/10.1080/09291016.2015.1075722>
- Gevers, W., Deliens, G., Hoffmann, S., Notebaert, W., & Peigneux, P. (2015). Sleep deprivation selectively disrupts top–down adaptation to cognitive conflict in the Stroop test. *Journal of Sleep Research*, 24(6), 666–672. <https://doi.org/10.1111/jsr.12320>
- Giamos, D., Doucet, O., & Léger, P.-M. (2024). Continuous performance feedback: Investigating the effects of feedback content and feedback sources on performance, motivation to improve performance and task engagement. *Journal of Organizational Behavior Management*, 44(3), 194–213. <https://doi.org/10.1080/01608061.2023.2238029>
- Godefroy, O. (2003). Frontal syndrome and disorders of executive functions. *Journal of Neurology*, 250(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s00415-003-0918-2>
- Goodman, J., & Wood, R. (2004). Feedback specificity, learning opportunities, and learning. *Journal of Applied Psychology*, 89, 809–821. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.89.5.809>
- Gosselin, A., De Koninck, J., & Campbell, K. B. (2019). Disentangling specific inhibitory versus general decision-making processes during sleep deprivation using a Go/NoGo ERP paradigm. *International Journal of Psychophysiology*, 141, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2019.04.007>
- Grant, L. K., Cain, S. W., Chang, A.-M., Saxena, R., Czeisler, C. A., & Anderson, C.

- (2018). Impaired cognitive flexibility during sleep deprivation among carriers of the Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF) Val66Met allele. *Behavioural Brain Research*, 338, 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2017.09.025>
- Green, D. M., & Swets, J. A. (1966). *Signal detection theory and psychophysics*. Wiley & Sons. <https://psycnet.apa.org/record/1967-02286-000>
- Greenwald, A. G. (1970). Sensory feedback mechanisms in performance control: With special reference to the ideo-motor mechanism. *Psychological Review*, 77(2), 73–99. <https://doi.org/10.1037/h0028689>
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. John Wiley & Sons. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0361-9230\(99\)00182-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s0361-9230(99)00182-3)
- Heuer, H., Kleinsorge, T., Klein, W., & Kohlisch, O. (2004). Total sleep deprivation increases the costs of shifting between simple cognitive tasks. *Acta Psychologica*, 117(1), 29–64. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2004.04.005>
- Hinss, M. F., Brock, A. M., & Roy, R. N. (2024). Double task switching: An investigation into the effects of similarity and task-rule congruency on cognitive flexibility. *PLOS ONE*, 19(10), e0305675. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305675>
- Hitch, G. J., Allen, R. J., & Baddeley, A. D. (2025). The multicomponent model of working memory fifty years on. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 78(2), 222–239. <https://doi.org/10.1177/17470218241290909>
- Holroyd, C., & Coles, M. (2002). The neural basis of human error processing: Reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. *Psychological Review*, 109(4), 679–709. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.109.4.679>
- Honn, K. A., Hinson, J. M., Whitney, P., & Van Dongen, H. P. A. (2019). Cognitive

- flexibility: A distinct element of performance impairment due to sleep deprivation. *Accident Analysis & Prevention, 10th International Conference on Managing Fatigue: Managing Fatigue to Improve Safety, Wellness, and Effectiveness*., 126, 191–197. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.02.013>
- Horne, J. A. (1993). Human sleep, sleep loss and behaviour: Implications for the prefrontal cortex and psychiatric disorder. *The British Journal of Psychiatry*, 162(3), 413–419. <https://doi.org/10.1192/bjp.162.3.413>
- Horne, J. A., & Ostberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4(2), 97–110.
- James, W. (1890). *The principles of psychology* (Vol. 1, pp. xii, 697). Henry Holt and Company. <https://doi.org/10.1037/10538-000>
- Jaśkowski, P., & Włodarczyk, D. (1997). Effect of sleep deficit, knowledge of results, and stimulus quality on reaction time and response force. *Perceptual and Motor Skills*, 84(2), 563–572. <https://doi.org/10.2466/pms.1997.84.2.563>
- Jin, X., Ye, E., Qi, J., Wang, L., Lei, Y., Chen, P., Mi, G., Zou, F., Shao, Y., & Yang, Z. (2015). Recovery sleep reverses impaired response inhibition due to sleep restriction: Evidence from a visual event related potentials study. *PLOS ONE*, 10(12), e0142361. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142361>
- Killgore, W. D. S. (2010). Effects of sleep deprivation on cognition. En *Progress in Brain Research* (Vol. 185, pp. 105–129). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53702-7.00007-5>
- Killgore, W. D. S., & Weber, M. (2014). Sleep deprivation and cognitive performance.

- Sleep Deprivation and Disease: Effects on the Body, Brain and Behavior*, 209–229. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9087-6_16
- Kim, D.-J., Lee, H.-P., Kim, M. S., Park, Y.-J., Go, H.-J., Kim, K.-S., Lee, S.-P., Chae, J.-H., & Lee, C. T. (2001). The effect of total sleep deprivation on cognitive functions in normal adult male subjects. *International Journal of Neuroscience*, 109(1–2), 127–137. <https://doi.org/10.3109/00207450108986529>
- Kleitman, N. (1960). The sleep cycle. *The American Journal of Nursing*, 60(5), 677–679. <https://doi.org/10.2307/3418166>
- Kluger, A. N., & DeNisi, A. (1996). The effects of feedback interventions on performance: A historical review, a meta-analysis, and a preliminary feedback intervention theory. *Psychological Bulletin*, 119(2), 254–284. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.119.2.254>
- Lezak, M. D. (1982). The problem of assessing executive functions. *International Journal of Psychology*, 17(1–4), 281–297. <https://doi.org/10.1080/00207598208247445>
- Li, H., & Jin, X. (2023). Multiple dynamic interactions from basal ganglia direct and indirect pathways mediate action selection. *eLife*, 12, RP87644. <https://doi.org/10.7554/eLife.87644>
- Lingenfelser, Th., Kaschel, R., Weber, A., Zaiser-Kaschel, H., Jakober, B., & Küper, J. (1994). Young hospital doctors after night duty: Their task-specific cognitive status and emotional condition. *Medical Education*, 28(6), 566–572. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1994.tb02737.x>
- Lis, S., Krieger, S., Wilhelm, J., & Gallhofer, B. (2005). Feedback about previous action improves executive functioning in schizophrenia: An analysis of maze solving

- behaviour. *Schizophrenia Research*, 78(2–3), 243–250.
<https://doi.org/10.1016/j.schres.2005.02.008>
- Luft, C. D. B. (2014). Learning from feedback: The neural mechanisms of feedback processing facilitating better performance. *Behavioural Brain Research*, 261, 356–368. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2013.12.043>
- Luria, A. R. (1966). *Higher cortical functions in man*. Basic Books.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4684-7741-2>
- Luu, P., Flaisch, T., & Tucker, D. M. (2000). Medial frontal cortex in action monitoring. *Journal of Neuroscience*, 20(1), 464–469.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.20-01-00464.2000>
- Maddox, W., Ashby, F., & Bohil, C. (2003). Delayed feedback effects on rule-based and information-integration category learning. *Journal of experimental psychology. Learning, memory, and cognition*, 29(4), 650–662. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.29.4.650>
- Magnuson, J. R., Kang, H. J., Dalton, B. H., & McNeil, C. J. (2022). Neural effects of sleep deprivation on inhibitory control and emotion processing. *Behavioural Brain Research*, 426, 113845. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.113845>
- Mangiapanello, K. A., & Hemmes, N. S. (2015). An analysis of feedback from a behavior analytic perspective. *The Behavior Analyst*, 38(1), 51–75.
<https://doi.org/10.1007/s40614-014-0026-x>
- Mao, T., Dinges, D., Deng, Y., Zhao, K., Yang, Z., Lei, H., Fang, Z., Yang, F. N., Galli, O., Goel, N., Basner, M., & Rao, H. (2021). Impaired vigilant attention partly accounts for inhibition control deficits after total sleep deprivation and partial sleep

- restriction. *Nature and Science of Sleep*, Volume 13, 1545–1560.
<https://doi.org/10.2147/NSS.S314769>
- Martella, D., Casagrande, M., & Lupiáñez, J. (2011). Alerting, orienting and executive control: The effects of sleep deprivation on attentional networks. *Experimental Brain Research*, 210(1), 81–89. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2605-3>
- Mayr, O. (1970). The origins of feedback control. *Scientific American*, 223(4), 110–119.
<https://doi.org/https://www.jstor.org/stable/24927641>
- McCarthy, M. E., & Waters, W. F. (1997). Decreased attentional responsivity during sleep deprivation: Orienting response latency, amplitude, and habituation. *Sleep*, 20(2), 115–123. <https://doi.org/10.1093/sleep/20.2.115>
- Miall, R. C., Weir, D. J., & Stein, J. F. (1987). Visuo-motor tracking during reversible inactivation of the cerebellum. *Experimental Brain Research*, 65(2), 455–464.
<https://doi.org/10.1007/bf00236319>
- Miall, R. C., Weir, D. J., & Stein, J. F. (1988). Planning of movement parameters in a visuo-motor tracking task. *Behavioural Brain Research*, 27(1), 1–8.
[https://doi.org/10.1016/0166-4328\(88\)90104-0](https://doi.org/10.1016/0166-4328(88)90104-0)
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001a). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1), 167–202.
<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001b). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1), 167–202.
<https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D.

- (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Monchi, O., Petrides, M., Strafella, A. P., Worsley, K. J., & Doyon, J. (2006). Functional role of the basal ganglia in the planning and execution of actions. *Annals of Neurology*, 59(2), 257–264. <https://doi.org/10.1002/ana.20742>
- Monsell, S. (2003). Task switching. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(3), 134–140. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(03\)00028-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(03)00028-7)
- Moruzzi, G., & Magoun, H. W. (1949). Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1(1), 455–473. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(49\)90219-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(49)90219-9)
- Müller, N. G., & Knight, R. T. (2006). The functional neuroanatomy of working memory: Contributions of human brain lesion studies. *Neuroscience, Cognitive Neuroscience of Working Memory*, 139(1), 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.09.018>
- Nieuwenhuys, A., Wadsley, C. G., Sullivan, R., Cirillo, J., & Byblow, W. D. (2025). Tired and out of control? Effects of total and partial sleep deprivation on response inhibition under threat and no-threat conditions. *Sleep: Journal of Sleep and Sleep Disorders Research*, 48(3), 1–13. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsae275>
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126(2), 220–246. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.126.2.220>

- Nishimura, Y., Ohashi, M., Eto, T., Hayashi, S., Motomura, Y., Higuchi, S., & Takahashi, M. (2025). Association of self-monitoring performance of cognitive performance with personal diurnal preference when sleep-deprived. *Chronobiology International*, 42(1), 122–132. <https://doi.org/10.1080/07420528.2024.2449014>
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action. En R. J. Davidson, G. E. Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation* (Vol. 4, pp. 1–18). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-0629-1_1
- O'Hagan, A. D., Issartel, J., McGinley, E., & Warrington, G. (2018). *A pilot study exploring the effects of sleep deprivation on analogue measures of pilot competencies*. 89, 609–615. <https://doi.org/10.3357/AMHP.5056.2018>
- Packwood, S., Hodgetts, H., & Tremblay, S. (2011). A multiperspective approach to the conceptualization of executive functions. *Journal of clinical and experimental neuropsychology*, 33, 456–470. <https://doi.org/10.1080/13803395.2010.533157>
- Pesoli, M., Rucco, R., Liparoti, M., Lardone, A., D'Aurizio, G., Minino, R., Troisi Lopez, E., Paccone, A., Granata, C., Curcio, G., Sorrentino, G., Mandolesi, L., & Sorrentino, P. (2022). A night of sleep deprivation alters brain connectivity and affects specific executive functions. *Neurological Sciences*, 43(2), 1025–1034. <https://doi.org/10.1007/s10072-021-05437-2>
- Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual review of neuroscience*, 35, 73–89. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150525>
- Pew, R. W. (1974). Levels of analysis in motor control. *Brain Research, Motor Aspects of Behaviour and Programmed Nervous Activities*, 71(2), 393–400.

[https://doi.org/10.1016/0006-8993\(74\)90983-4](https://doi.org/10.1016/0006-8993(74)90983-4)

- Pezzulo, G., & Cisek, P. (2016). Navigating the affordance landscape: Feedback control as a process model of behavior and cognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(6), 414–424. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.03.013>
- Pisotta, I., & Molinari, M. (2014). Cerebellar contribution to feedforward control of locomotion. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(475), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00475>
- Posner, M. I. (2008). Measuring alertness. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1129(1), 193–199. <https://doi.org/10.1196/annals.1417.011>
- Posner, M. I., Inhoff, A. W., Friedrich, F. J., & Cohen, A. (1987). Isolating attentional systems: A cognitive-anatomical analysis. *Psychobiology*, 15(2), 107–121. <https://doi.org/10.3758/BF03333099>
- Posner, M. I., & Rothbart, M. K. (1998). Attention, self-regulation and consciousness. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 353(1377), 1915–1927. <https://doi.org/https://doi.org/10.1098/rstb.1998.0344>
- Posner, M., & Rafal, R. (1987). Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. En M. Meier, A. Benton, & L. Diller (Eds.), *Neuropsychological Rehabilitation* (pp. 182–201). Guilford Press.
- Pourhassan, J., Sarginson, J., Hitzl, W., & Richter, K. (2023). Cognitive function in soccer athletes determined by sleep disruption and self-reported health, yet not by decision-reinvestment. *Frontiers in Neurology*, 13, 872761. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.872761>
- Pribram, K. H., & Luria, A. R. (1973). *Psychophysiology of the frontal lobes*. Academic

Press. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-07500-7>

- Ralph, M. R., Foster, R. G., Davis, F. C., & Menaker, M. (1990). Transplanted suprachiasmatic nucleus determines circadian period. *Science*, 247(4945), 975–978. <https://doi.org/10.1126/science.2305266>
- Ramirez, C., Talamantes, J., García, A., Morales, M., Valdez, P., & Menna-Barreto, L. (2006). Circadian rhythms in phonological and visuospatial storage components of working memory. *Biological Rhythm Research*, 37, 433–441. <https://doi.org/10.1080/09291010600870404>
- Richardson, J. T. E. (2011). Eta squared and partial eta squared as measures of effect size in educational research. *Educational Research Review*, 6(2), 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2010.12.001>
- Ridderinkhof, K. R., Van Den Wildenberg, W. P. M., Segalowitz, S. J., & Carter, C. S. (2004). Neurocognitive mechanisms of cognitive control: The role of prefrontal cortex in action selection, response inhibition, performance monitoring, and reward-based learning. *Brain and Cognition*, 56(2), 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.09.016>
- Roach, G., Lamond, N., & Dawson, D. (2016). Feedback has a positive effect on cognitive function during total sleep deprivation if there is sufficient time for it to be effectively processed. *Applied Ergonomics*, 52, 285–290. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.07.026>
- Robbins, T. W. (2007). Shifting and stopping: Fronto-striatal substrates, neurochemical modulation and clinical implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362(1481), 917–932.

<https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2097>

- Roca, J., Fuentes, L. J., Marotta, A., López-Ramón, M.-F., Castro, C., Lupiáñez, J., & Martella, D. (2012). The effects of sleep deprivation on the attentional functions and vigilance. *Acta Psychologica*, 140(2), 164–176. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2012.03.007>
- Sagaspe, P., Sanchez-Ortuno, M., Charles, A., Taillard, J., Valtat, C., Bioulac, B., & Philip, P. (2006). Effects of sleep deprivation on color-word, emotional, and specific stroop interference and on self-reported anxiety. *Brain and Cognition*, 60(1), 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2005.10.001>
- Sagaspe, P., Taillard, J., Amiéva, H., Beck, A., Rascol, O., Dartigues, J.-F., Capelli, A., & Philip, P. (2012). Influence of age, circadian and homeostatic processes on inhibitory motor control: A go/nogo task study. *PLOS ONE*, 7(6), e39410. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0039410>
- Scheil, J., & Kleinsorge, T. (2023). Inhibition during task switching is affected by the number of competing tasks. *Memory & Cognition*, 52(1), 211. <https://doi.org/10.3758/s13421-023-01456-w>
- Şen, B., Kurtaran, N. E., & Öztürk, L. (2023). The effect of 24-hour sleep deprivation on subjective time perception. *International Journal of Psychophysiology*, 192, 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.08.011>
- Slama, H., Chylinski, D. O., Deliens, G., Leproult, R., Schmitz, R., & Peigneux, P. (2018). Sleep deprivation triggers cognitive control impairments in task-goal switching. *Sleep*, 41(2), zsx200. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsx200>
- Smith, E. E., & Jonides, J. (1998). Neuroimaging analyses of human working memory.

- Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(20), 12061–12068.
<https://doi.org/10.1073/pnas.95.20.12061>
- Smith, M. T., McCrae, C. S., Cheung, J., Martin, J. L., Harrod, C. G., Heald, J. L., & Carden, K. A. (2018). Use of actigraphy for the evaluation of sleep disorders and circadian rhythm sleep-wake disorders: An american academy of sleep medicine systematic review, meta-analysis, and GRADE assessment. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 14(7), 1209–1230. <https://doi.org/10.5664/jcsm.7228>
- Steyvers, F. J., & Gaillard, A. W. (1993). The effects of sleep deprivation and incentives on human performance. *Psychological Research*, 55(1), 64–70.
<https://doi.org/10.1007/BF00419894>
- Stuss, D. T. (2011). Functions of the frontal lobes: Relation to executive functions. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(05), 759–765.
<https://doi.org/10.1017/S1355617711000695>
- Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1984). Neuropsychological studies of the frontal lobes. *Psychological Bulletin*, 95(1), 3–28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/0033-2909.95.1.3>
- Sun, X., Qu, Z., Zhang, X., Zhang, Y., Zhang, X., Zhao, H., & Zhang, H. (2025). The effects of sleep deprivation on cognitive flexibility: A scoping review of outcomes and biological mechanisms. *Frontiers in Neuroscience*, 19, 1626309.
<https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1626309>
- Turner, T., Drummond, S., Salamat, J., & Brown, G. (2007). Effects of 42 hr of total sleep deprivation on component processes of verbal working memory. *Neuropsychology*, 21, 787–795. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.21.6.787>

- Ullsperger, M., Danielmeier, C., & Jocham, G. (2014). Neurophysiology of performance monitoring and adaptive behavior. *Physiological Reviews*, 94(1), 35–79. <https://doi.org/10.1152/physrev.00041.2012>
- Valdez, P. (2015). *Cronobiología. Respuestas psicofisiológicas al tiempo*. Editorial Trillas.
- Valdez, P. (2019a). Circadian rhythms in attention. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 92(1), 81–92. <https://doi.org/https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6430172/>
- Valdez, P. (2019b). Homeostatic and circadian regulation of cognitive performance. *Biological Rhythm Research*, 50(1), 85–93. <https://doi.org/10.1080/09291016.2018.1491271>
- Valdez, P., Ramírez, C., & García, A. (1996). Delaying and extending sleep during weekends: Sleep recovery or circadian effect? *Chronobiology International*, 13(3), 191–198. <https://doi.org/10.3109/07420529609012652>
- Valdez, P., Ramírez, C., García, A., Talamantes, J., Armijo, P., & Borrani, J. (2005). Circadian rhythms in components of attention. *Biological Rhythm Research*, 36(1–2), 57–65. <https://doi.org/10.1080/09291010400028633>
- Valdez, P., Ramírez, C., & Téllez, A. (1998). Alteraciones del ciclo dormir-vigilia. En A. Téllez (Ed.), *Trastornos del sueño: Diagnóstico y tratamiento* (pp. 193–230). México: Trillas.
- Valdez, P., Ramírez, & García, A. (2012). Circadian rhythms in cognitive performance: Implications for neuropsychological assessment. *ChronoPhysiology and Therapy*, 2, 81–92. <https://doi.org/10.2147/cpt.s32586>
- Van Dongen, H. P. A., Maislin, G., Mullington, J. M., & Dinges, D. F. (2003). The

- cumulative cost of additional wakefulness: Dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep*, 26, 117–126. <https://doi.org/10.1093/sleep/26.2.117>
- Watson, N. F., Badr, M. S., Belenky, G., Bliwise, D. L., Buxton, O. M., Buysse, D., Dinges, D. F., Gangwisch, J., Grandner, M. A., Kushida, C., Malhotra, R. K., Martin, J. L., Patel, S. R., Quan, S. F., & Tasali, E. (2015). Recommended amount of sleep for a healthy adult: A joint consensus statement of the american academy of sleep medicine and sleep research society. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 11(06), 591–592. <https://doi.org/10.5664/jcsm.4758>
- Whitney, P., Hinson, J. M., Jackson, M. L., & Van Dongen, H. P. A. (2015). Feedback blunting: Total sleep deprivation impairs decision making that requires updating based on feedback. *Sleep*, 38(5), 745–754. <https://doi.org/10.5665/sleep.4668>
- Wiener, N. (2019). *Cybernetics: Or control and communication in the animal and the machine* (2a ed.). The MIT Press. <https://doi.org/10.1037/13140-000>
- World Medical Association. (2025). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 333(1), 71–74. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.21972>
- Wulf, G., Shea, C., & Lewthwaite, R. (2010). Motor skill learning and performance: A review of influential factors. *Medical Education*, 44(1), 75–84. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.2009.03421.x>
- Zelazo, P. D., Carter, A., Reznick, J. S., & Frye, D. (1997). Early development of executive function: A problem-solving framework. *Review of General Psychology*, 1(2), 198–226. <https://doi.org/10.1037/1089-2680.1.2.198>

Zhang, X., Feng, S., Yang, X., Peng, Y., Du, M., Zhang, R., Sima, J., Zou, F., Wu, X., Wang, Y., Gao, X., Luo, Y., & Zhang, M. (2024). Neuroelectrophysiological alteration associated with cognitive flexibility after 24 h sleep deprivation in adolescents. *Consciousness and Cognition*, 124, 103734. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2024.103734>

VII. ANEXOS

Anexo 1. Carta de información acerca de la investigación

Monterrey, N.L. a _____

La investigación “Efectos de la privación de sueño en los procesos cognoscitivos” tiene como objetivo determinar los efectos de la privación total de sueño en los componentes del mecanismo de regulación de las funciones ejecutivas. Para cumplir este objetivo se invita de forma voluntaria a estudiantes universitarios a participar en un protocolo de privación total de sueño en el que deben contestar una tarea neuropsicológica que mide las funciones ejecutivas.

El protocolo de privación total de sueño consiste en asistir al Laboratorio de Psicofisiología durante tres días consecutivos. El primer día, los participantes deben asistir al Laboratorio al mediodía para contestar una tarea neuropsicológica computarizada después de haber dormido 8 horas. La tarea tiene una duración de 20 minutos y consiste en la aparición de círculos en una pantalla de computadora, en la cual los participantes deben dar clic con el mouse dentro de los círculos cada vez que aparezcan en la pantalla. Ese mismo día, los participantes deben volver al Laboratorio a las 8 p.m. y después no dormir por 24 horas en las instalaciones del Laboratorio. El segundo día, los participantes vuelven a contestar la tarea neuropsicológica durante la privación total de sueño. Luego, los participantes son transportados a sus hogares y se les indica dormir libremente. El tercer día, los participantes deben volver al Laboratorio para contestar la tarea neuropsicológica después de haber dormido libremente.

Los participantes son informados que pueden abandonar el protocolo en cualquier momento que lo deseen y que no están obligados a continuar, aunque el registro ya haya iniciado. Durante el protocolo, los participantes se encuentran todo el tiempo acompañados por colaboradores del Laboratorio que cuidan de su salud, integridad, dignidad, privacidad y confidencialidad. Además, la información que se obtiene de sus respuestas en la tarea neuropsicológica es confidencial y solamente se utiliza en graficas grupales relacionadas con la investigación.

Anexo 2. Carta de consentimiento informado para participantes

Monterrey, N.L. a _____

Por medio de la presente hago constar que estoy enterado de los objetivos que persigue la investigación **Efectos de la privación de sueño en los procesos cognoscitivos**, así como la forma en que se llevará a cabo.

Además, manifiesto que participo en este estudio en forma voluntaria y sin compromiso.

El firmar esta carta no establece ningún tipo de obligación, sólo significa que estoy enterado y acepto participar voluntariamente en la investigación mencionada.

Nombre_____
Firma

Anexo 3. Carta de consentimiento informado para padres**Estimado padre de familia**

P r e s e n t e.-

Por medio de la presente me permito saludarle y a la vez informarle que invitamos a su hijo(a) a participar en el estudio “Efectos de la privación de sueño en los procesos cognoscitivos”. Sin embargo, requerimos de su consentimiento para que su hijo(a) pueda participar en el mismo. El protocolo de este estudio implica que su hijo(a) responda una serie de cuestionarios con la posibilidad de ser seleccionado para asistir un día al Laboratorio de Psicofisiología, Facultad de Psicología, UANL, desde la mañana, y permanecer en el Laboratorio hasta la tarde del día siguiente. La fecha en la que asistirá su hijo(a) será programada con anticipación entre el 23 de septiembre al 25 de octubre del año en curso.

Si usted está de acuerdo en que su hijo(a) participe en esta actividad le agradecemos firme la autorización siguiente:

Estoy de acuerdo en que mi hijo(a) _____
participe en el estudio: “Efectos de la privación de sueño en los procesos cognoscitivos”

Nombre del padre o tutor _____

Firma _____

Sin más por el momento, y agradeciendo de antemano su atención a la presente, se despide de usted.

Atentamente

“Alere Flammam Veritatis”

Monterrey, Nuevo León a 15 de agosto de 2024

Dr. Jorge Benjamín Borrani Valdés

Coordinador del Laboratorio de Psicofisiología

Tel. Cel. (81)8085-3179

Anexo 4. Cuestionario de datos generales

Nombre: _____ Fecha de nacimiento: _____ Edad: _____ años

Sexo: Masculino__ Femenino__ Diestro __Zurdo __Ambidiestro__

Estatura: _____m Peso: _____ kg

Escolaridad (coloque los años completos cursados):

Kínder:____ Primaria:____ Secundaria: ____ Preparatoria:____ Profesional:____

Escuela:

_____, Semestre:_____, Grupo:_____

Turno:_____ Teléfono: _____ casa:_____ Tel. _____

Celular _____

E-mail: _____

Horario de clases

Día	Entrada	Salida	Día	Entrada	Salida
-----	---------	--------	-----	---------	--------

Lunes			Jueves		
-------	--	--	--------	--	--

Martes			Viernes		
--------	--	--	---------	--	--

Miércoles			Sábado		
-----------	--	--	--------	--	--

Si actualmente realiza alguna actividad con horario fijo (clases, ejercicio, trabajo, etc.), especifique cual(es), que días de la semana y a qué horas.

Actividad:	Días:	Horario:
------------	-------	----------

Actividad:	Días:	Horario:
------------	-------	----------

Actividad:	Días:	Horario:
------------	-------	----------

Antecedentes médicos

1. ¿Tuvo dificultades para respirar al nacer? Sí: ____ No: ____ ¿Por cuánto tiempo? _____ minutos

2. ¿Ha tenido enfermedades graves? Sí: ____ No: ____

¿Cuáles?

Enfermedad: _____ Edad: ____

Enfermedad: _____ Edad: ____

Enfermedad: _____ Edad: ____

3. ¿Ha tenido algún accidente grave? Sí: ____ No: ____

¿Cuáles?

Accidente: _____ Edad: ____

Accidente: _____ Edad: ____

Accidente: _____ Edad: ____

4. ¿Ha perdido la conciencia (desmayo) por más de 30 minutos? Sí: ____ No: ____

Edad: ____

5. ¿Ha estado hospitalizado? Sí: ____ No: ____ Edad: ____

¿Por cuánto tiempo? _____

Motivo:

6. ¿Ha tomado medicamentos por un período prolongado (meses)? Sí: ____ No:

____ ¿Cuáles?

Edad: ____ Medicamento: _____ Número de meses: _____

Edad: ____ Medicamento: _____ Número de meses: _____

7. ¿Ha consumido alguna droga? Sí: ____ No: ____ Desde qué edad: ____ Las consume actualmente: Sí: ____ No: ____

Especifique _____ cuál _____ o _____ cuáles:

8. ¿Ha tenido o tiene algún trastorno en el desarrollo (déficit de atención, trastorno de aprendizaje)? Sí ____ No ____

Edad: ____ Trastorno: _____

Edad: ____ Trastorno: _____

Anexo 5. Cuestionario de trastornos del dormir

Lee cuidadosamente los problemas del dormir que se mencionan abajo y señala cuál de ellos presentas actualmente (últimos seis meses). Cuando marques SI, indica enseguida lo molesto del problema.

			Me molesta				
	No	Si	Nada	Poco	Regular	Mucho	Demasiado
¿Tiene dificultades para empezar a dormir?							
¿Tiene despertamientos durante la noche con dificultades para volver a dormir?							
¿Despierta en la noche y no logra volver a dormir?							
¿Se siente cansado al despertar?							
¿Siente que duerme demasiado tiempo?							
¿Siente muchas ganas de dormir durante el día?							
¿Tiene pesadillas?							
¿Recuerda sus pesadillas detalladamente?							
¿Habla dormido?							
¿Tiene sonambulismo (camina dormido)?							
¿Siente que no puede moverse (paralizado) al empezar a dormir o al despertar?							
¿Rechina los dientes dormido?							
¿Se orina en la cama?							
¿Ronca?							

Anexo 6. Cuestionario de hábitos del dormir

Indicaciones: Conteste cada pregunta cuidadosamente de acuerdo con sus actividades de una semana normal reciente, es decir, que no haya viajado, tomado vacaciones ni haya tenido un problema familiar. Medianoche = 12:00 AM. Mediodía = 12:00 PM.

1. La noche anterior a un día de trabajo o escuela ¿A qué hora se ACUESTA A DORMIR? (cuando ya está en la cama tratando de quedarse dormido).

	Horas	Minutos	PM	AM
Generalmente	_____	_____	_____	_____
Lo más temprano	_____	_____	_____	_____
Lo más tarde	_____	_____	_____	_____

2. La noche anterior a un día de descanso (fin de semana) ¿A qué hora se ACUESTA A DORMIR? (cuando ya está en la cama tratando de quedarse dormido).

	Horas	Minutos	PM	AM
Generalmente	_____	_____	_____	_____
Lo más temprano	_____	_____	_____	_____
Lo más tarde	_____	_____	_____	_____

3. Un día de trabajo o escuela ¿A qué hora se LEVANTA? (cuando ya está fuera de la cama y empieza sus actividades).

	Horas	Minutos	PM	AM
Generalmente	_____	_____	_____	_____
Lo más temprano	_____	_____	_____	_____
Lo más tarde	_____	_____	_____	_____

4. Un día de descanso (fin de semana) ¿A qué hora se LEVANTA? (Cuando ya está fuera de la cama y empieza sus actividades).

	Horas	Minutos	PM	AM
Generalmente	_____	_____	_____	_____
Lo más temprano	_____	_____	_____	_____
Lo más tarde	_____	_____	_____	_____

5. Generalmente cuánto tiempo tarda en quedarse dormido a partir de que empieza a intentarlo:

_____ minutos.

6. Generalmente cuánto tiempo permanece despierto en la noche cuando se interrumpe su dormir (por ejemplo, para ir al baño):

_____ minutos.

7. Marque con una X los días que toma siesta:

- ☐ Ninguno
- ☐ Lunes
- ☐ Martes
- ☐ Miércoles
- ☐ Jueves
- ☐ Viernes
- ☐ Sábado
- ☐ Domingo
- ☐ Todos

8. ¿Generalmente por cuánto tiempo duerme siesta?

Horas_____ Minutos_____

9. ¿Generalmente a qué hora duerme la siesta?

Anexo 7. Diario del dormir

Instrucciones: Escriba la información correspondiente. Recuerde poner **A.M.** o **P.M.** donde corresponda.

¿A qué hora se acostó a dormir anoche? _____ ¿Cuánto tiempo tardó en dormirse? _____
(Especifique en minutos)

¿A qué hora se despertó hoy? _____ ¿A qué hora se levantó hoy? _____

¿Cómo se despertó hoy? Con despertador _____ Espontáneo _____ Otro (especifique) _____

¿Cuántas veces se despertó durante el dormir? _____ Tiempo máximo que estuvo despierto _____

Si tomó alguna siesta el día de ayer, especifique:

Hora de inicio: _____

Hora de terminación: _____

¿Utilizó su celular, laptop o tablet en la cama antes de dormir anoche? Si _____ No _____ ¿Cuál? _____

¿Por cuánto tiempo? Especifique en minutos _____

¿Fue el día de hoy a la escuela? No _____ Sí _____

Hora en que llegó a la escuela hoy: _____

Califique lo siguiente de acuerdo con la escala de la derecha.

	Nada	Poco	Regular	Mucho	Demasiado
¿Tuvo dificultades para empezar a dormir anoche?					
¿Qué tan satisfecho quedo hoy de su dormir?					
¿Qué tan alerta y dispuesto a trabajar se sintió hoy al despertar?					
¿Qué tan somnoliento se sintió durante el día de ayer?					
¿Qué tan cansado se sintió durante el día de ayer?					

Si consumió alguno(s) de los siguientes durante el día de ayer, especifique:

	Nombre	Cantidad	¿A qué hora(s) del día?:
Medicamentos			
Refresco de cola o energizantes			
Bebidas alcohólicas			
Cigarros			
Café			
Otras drogas			

Anexo 8. Escalas analógicas de somnolencia y cansancio.**SOMNOLENCIA**

Nombre: _____

Marqué con una línea vertical sobre la siguiente línea su grado de somnolencia actual, considerando que el extremo izquierdo representa nada de somnolencia y el derecho mucha somnolencia.



Registrador: _____

Registro: _____

CANSANCIO

Nombre: _____

Marqué con una línea vertical sobre la siguiente línea su grado de cansancio actual, considerando que el extremo izquierdo representa nada de cansancio y el derecho mucho cansancio.



Registrador: _____

Registro: _____

Anexo 9. Cuestionario de matutinidad-vespertinidad

Instrucciones:

1. Lea cada pregunta con cuidado antes de contestar.
2. Responda todas las preguntas.
3. Responda las preguntas en el orden en que aparecen.
4. Cada pregunta debe contestarse independientemente de las otras. NO revise sus respuestas anteriores.
5. Para cada pregunta marque con una cruz sólo una respuesta. En las preguntas con una escala marque con una cruz en el espacio adecuado de la escala.
6. Conteste lo más sinceramente posible. Los resultados son estrictamente confidenciales.
7. Anote sus comentarios debajo de cada pregunta.

CUESTIONARIO

1. Si pudiera planear libremente su día, ¿a qué hora se levantaría?

AM 5 6 7 8 9 10 11 12

2. Si pudiera planear libremente su tarde, ¿a qué hora se acostaría?

PM 8 9 10 11 12 AM 1 2 3

3. Si tiene que levantarse en la mañana a una hora específica, ¿qué tanto depende de un reloj alarma para despertar?

No dependo

Dependo un poco

Dependo mucho

Dependo totalmente

4. En un día con clima agradable, ¿qué tan fácil se levanta en la mañana?

Muy difícil

Difícil

Fácil

Muy fácil

5. ¿Qué tan atento y despejado se siente durante la primera media hora después de despertar en la mañana?

Nada despejado

Un poco despejado

Despejado

Muy despejado

6. ¿Qué tanta hambre tiene durante la primera media hora después de despertar en la mañana?

Muy poca

Poca

Regular

Mucha

7. ¿Qué tan cansado se siente durante la primera media hora después de despertar en la mañana?

Muy cansado

Cansado

Descansado

Muy descansado

8. Cuando no tiene nada que hacer el día siguiente, ¿a qué hora se acuesta en

comparación con lo que acostumbra?

Casi nunca (o nunca) más tarde

Menos de una hora más tarde

1 - 2 horas más tarde

Más de 2 horas más tarde

9. Suponga que ha decidido hacer ejercicio dos días por semana y un amigo lo invita de 7 a 8 AM, ¿Cómo cree que se sentiría?

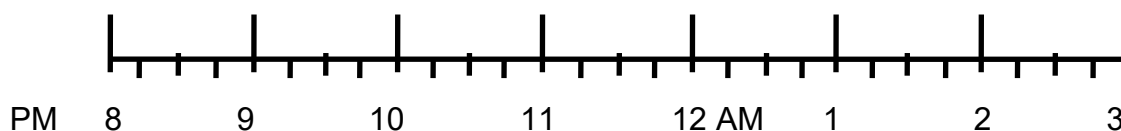
En muy buena forma

En buena forma

Sería difícil

Sería muy difícil

10. ¿A qué hora se siente cansado y con sueño?



11. Si deseara estar en mejor momento para una prueba escrita difícil (que consiste en resolver problemas y que durará más de dos horas), si pudiera planear libremente su día, ¿qué intervalo escogería?

8 - 10 AM

11 AM - 1 PM

3 - 5 PM

7 - 9 PM

--

12. Si se acostase a dormir a las 11 PM, ¿qué tan cansado estaría en ese momento?

Nada cansado

Un poco cansado

Cansado

Muy cansado

13. Si por alguna razón se acostó a dormir más tarde de lo acostumbrado y no tiene necesidad de levantarse a una hora determinada al día siguiente, ¿qué es más probable que le suceda?

Despertaría a la hora acostumbrada y ya no dormiría

Despertaría a la hora acostumbrada y me sentiría somnoliento

Despertaría a la hora acostumbrada y me volvería a dormir enseguida

Despertaría más tarde de lo acostumbrado

14. Si tuviera que trabajar de 4 a 6 AM y no tuviese actividades al día siguiente, ¿qué es lo que haría?

Sólo dormiría después de terminar de trabajar

Tomaría una siesta antes del trabajo y dormiría bien después del trabajo

Dormiría bien antes de trabajar y tomaría una siesta después del trabajo

Sólo dormiría antes de trabajar

15. Si tuviese que hacer un trabajo físico intenso, ¿qué intervalo escogería?

19. Uno escucha acerca de gentes "madrugadoras" y "nocturnas", ¿de cuál de esos tipos se considera?

Definitivamente madrugador

Más madrugador que nocturno

Más nocturno que madrugador

Definitivamente nocturno

Anexo 10. Hoja de registro para la sección de retroalimentación verbal inmediata de la tarea de seguimiento modificada.

INSTRUCCIONES: Escribir en cada celda **1** si el participante responde "**SI**" y **0** si el participante responde "**NO**". Escribir en la celda **X** si el participante no responde.

INICIALES: _____

REGISTRADOR: _____

Bloque	1	2	3	4
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				

Comentarios:
