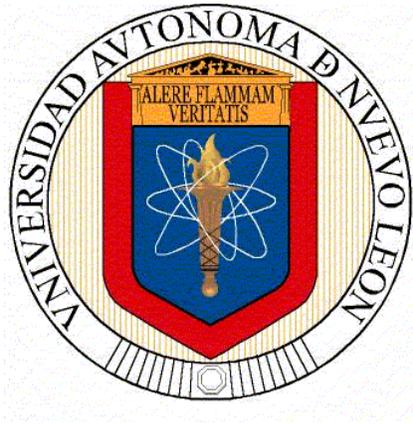


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE PSICOLOGÍA**



TESIS

**“EFECTOS DE LA PRIVACIÓN DE SUEÑO EN LA ATENCIÓN
SOSTENIDA Y LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA CEREBRAL”**

**PRESENTADA POR
DANTE GUERRA QUINTERO**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS
CON ORIENTACIÓN EN COGNICIÓN Y EDUCACIÓN**

SEPTIEMBRE 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**FACULTAD DE PSICOLOGÍA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN COGNICIÓN Y EDUCACIÓN



**“EFECTOS DE LA PRIVACIÓN DE SUEÑO EN LA ATENCIÓN SOSTENIDA Y LA
ACTIVIDAD ELÉCTRICA CEREBRAL”**

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

**PRESENTA
Dante Guerra Quintero**

**DIRECTOR DE TESIS:
Minerva Aída García García**

MONTERREY, N. L., MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2024

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

**FACULTAD DE PSICOLOGÍA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ORIENTACIÓN EN COGNICIÓN Y EDUCACIÓN



**“EFECTOS DE LA PRIVACIÓN DE SUEÑO EN LA ATENCIÓN SOSTENIDA Y LA
ACTIVIDAD ELÉCTRICA CEREBRAL”**

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

**PRESENTA
Dante Guerra Quintero**

**DIRECTOR DE TESIS:
Minerva Aída García García**

MONTERREY, N. L., MÉXICO, SEPTIEMBRE DE 2024

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 de sueño en la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral” que presenta Dante Guerra Quintero ha sido aprobada por el Comité de Tesis.

Minerva Aída García García
Director de Tesis

Pablo Valdez Ramírez
Revisor de Tesis

Jorge Benjamín Borrani Valdés
Revisor de Tesis

Monterrey, Nuevo León, México, junio de 2024

DEDICATORIA

A mi padre Guillermo, mi madre Ana María, mi hermano Arath y mi pareja Ivythza, gracias por todo su apoyo incondicional. Cada uno a su manera, con sus palabras y acciones fueron parte importante para la realización y conclusión de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

A los participantes de este estudio, gracias a su disposición e interés en ser parte de este proyecto fue posible la realización de esta tesis.

A mi directora la Dra. Aída García, por sus enseñanzas y por transmitirme con entusiasmo la pasión por la investigación.

A mis revisores el Dr. Pablo Valdez y el Dr. Jorge Borrani, por sus observaciones que contribuyeron para la realización de esta tesis y mi formación como investigador.

Al Ing. Arturo de la Garza, por su apoyo académico y moral.

A los integrantes del Laboratorio de Psicofisiología: Derian Valdez, Ezequiel Estrello, Fernando Medina, Adrián Peña, Ada Lozano y Julia Ruiz por su colaboración en la realización de este proyecto.

A mis compañeros de generación del laboratorio, Ivana Santos, Mariel Mancilla, Brayan Alemán, Diana Rodríguez, por su retroalimentación y comentarios durante la realización del proyecto.

RESUMEN

Efectos de la privación de sueño en la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral

A lo largo de la vida las personas realizan una gran variedad de actividades, muchas implican que las personas respondan por un período de tiempo prolongado como conducir un vehículo en la carretera por distancias largas. La capacidad de responder eficientemente durante largos períodos se conoce como atención sostenida. La atención sostenida se puede evaluar a través de 3 indicadores: estabilidad general de la eficiencia, estabilidad en el tiempo dedicado a la tarea y estabilidad a corto plazo. Se ha observado que la privación de sueño disminuye el rendimiento en tareas de atención sostenida y también cambia el nivel de activación cerebral, ya que en estas condiciones se ha observado un aumento del poder espectral theta y una disminución del poder beta. Sin embargo, los pocos estudios que los analizan simultáneamente no miden los indicadores de atención sostenida. El objetivo de este estudio fue determinar los efectos de la privación de sueño sobre la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral. Participaron doce estudiantes universitarios, 7 hombres y 5 mujeres con una edad promedio de $17,92 \pm 1,18$ años. Los participantes realizaron la TEC al mediodía: después de dormir libremente durante una noche (línea de base) y después de una privación de sueño de 24 horas. Durante la realización de la TEC, la actividad eléctrica cerebral se registró mediante un electroencefalograma (EEG) y se analizó con un análisis espectral. La privación de sueño aumentó el poder espectral de la banda theta, lo que se correlacionó con un aumento en la variabilidad de las respuestas correctas ($r=0,79$, $p<0,01$) y los tiempos de reacción ($r=0,80$, $p<0,01$) (estabilidad general de la eficiencia), y un aumento en las secuencias de errores ($r=0,74$, $p<0,01$) (estabilidad a corto plazo). En conclusión, la privación de sueño aumenta la actividad theta al tiempo que disminuye la atención sostenida, por lo que si una persona se encuentra en privación de sueño su ejecución se deteriorará en la actividad que estén realizando como por ejemplo al manejar, lo cual podría ocasionar algún accidente.

Palabras clave: Privación de sueño, Atención sostenida, Actividad eléctrica cerebral.

ABSTRACT

Effects of sleep deprivation on sustained attention and brain electrical activity

Throughout life, people perform a wide variety of activities, many of which involve people responding for an extended period, such as driving a vehicle on the road for long distances. The ability to respond efficiently for long periods is known as sustained attention. Sustained attention can be assessed through 3 indicators: general stability of efficiency, time on task stability, and short-term stability. It has been observed that sleep deprivation diminishes the performance in sustained attention tasks and changes the level of brain activation, since an increase in theta and a decrease in beta spectral power have been observed in these conditions. However, the few studies that analyze them simultaneously do not measure the indicators of sustained attention. The objective of this study was to determine the effects of sleep deprivation on sustained attention and brain electrical activity. Twelve university students participated, 7 men and 5 women with an average age of 17.92 ± 1.18 years. Participants performed the CPT at noon: after sleeping freely for one night (baseline), and after a 24-h sleep deprivation. During the CPT performance, the brain electrical activity was recorded by means of an electroencephalogram (EEG) and was analyzed with a spectral analysis. Sleep deprivation increased the spectral power of theta band, that was correlated with an increase in the variability of correct responses ($r=0.79$, $p<0.01$) and reaction times ($r=0.80$, $p<0.01$) (general stability), and longer error runs ($r=0.74$, $p<0.01$) (short-term stability). In conclusion, sleep deprivation increases theta activity as decreases sustained attention, so if a person is sleep deprived, their performance will deteriorate in the activity they are doing, such as driving, which could cause an accident.

Keywords: Sleep deprivation, Sustained attention, Brain electrical activity.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	13
Definición del Problema	18
Justificación de la Investigación	20
Objetivos	22
Objetivo General	22
Objetivos Específicos	22
Hipótesis o Preguntas de Investigación	23
Limitaciones y Delimitaciones	23
II. MARCO TEÓRICO	24
Atención sostenida	24
Evaluación de la atención sostenida	30
Estructuras cerebrales relacionadas con la atención sostenida	32
Evaluación de la actividad cerebral por medio del EEG	37
Atención sostenida y actividad eléctrica cerebral en vigilia	42
Sueño y privación de sueño	45
Efectos de la privación de sueño en la somnolencia y la atención sostenida	49
Efectos de la privación de sueño en la actividad eléctrica cerebral	52
Privación de sueño, atención sostenida y actividad eléctrica cerebral	55
III. MÉTODO	58
Diseño	58
Participantes	58
Instrumentos	59
Procedimiento	65
Análisis de datos	68
IV. RESULTADOS	71
Cuestionarios previos al registro	71
Efectos de la privación del dormir en la somnolencia	72
Efectos de la privación del dormir en la atención sostenida	74
Estabilidad general de la eficiencia	74
Estabilidad en el tiempo en la tarea	76
Estabilidad a corto plazo	84

Efectos de la privación del dormir en la actividad eléctrica cerebral	90
Atención sostenida y actividad eléctrica cerebral	95
Estabilidad general de la eficiencia	95
Estabilidad en el tiempo de la tarea	98
Estabilidad a corto plazo	101
V. DISCUSIÓN	105
VI. CONCLUSIONES	117
VI. REFERENCIAS	119
ANEXOS	132
Anexo 1. Carta de consentimiento informado.	133
Anexo 2. Cuestionario de datos generales del estudiante.	134
Anexo 3. Cuestionario de trastornos del dormir	136
Anexo 4. Diario del dormir.	137
Anexo 5. Escala de somnolencia diurna de Epworth.	138
Anexo 6. Escala visual analógica de somnolencia.	139

Índice de figuras

Figura 1. Análisis espectral	42
Figura 2. Tarea de ejecución continua visual	63
Figura 3. Indicadores de la atención sostenida de la TEC	64
Figura 4. Sistema 10-20 para la colocación de electrodos	65
Figura 5. Protocolo del registro	67
Figura 6. Somnolencia subjetiva antes y después de la privación de sueño	73
Figura 7. Porcentaje de respuestas correctas antes y después de la privación de sueño por participante. Participantes 1-6.	78
Figura 8. Porcentaje de respuestas correctas antes y después de la privación de sueño por participante. Participantes 7-12	79
Figura 9. Ejecución por bloques en los tiempos de reacción de la tarea antes y después de la privación de sueño por participante. Participantes 1-6	80
Figura 10. Ejecución por bloques en los tiempos de reacción de la tarea antes y después de la privación de sueño por participante. Participantes 7-12	81
Figura 11. Estabilidad general de la eficiencia antes y después de la privación de sueño	82
Figura 12. Estabilidad en el tiempo en la tarea antes y después de la privación de sueño	83
Figura 13. Estabilidad a corto plazo por participante, antes y después de la privación de sueño. Participantes 1-6	86
Figura 14. Estabilidad a corto plazo por participante, antes y después de la privación de sueño. Participantes 7-12	87

Figura 15. Estabilidad a corto plazo antes y después de la privación de sueño	89
Figura 16. Época de 30 segundos del EEG durante la línea base	91
Figura 17. Época de 30 segundos del EEG durante la privación de sueño	91
Figura 18. Actividad eléctrica cerebral antes y después de la privación de sueño	92
Figura 19. Estabilidad general de la eficiencia de respuestas correctas y la actividad eléctrica cerebral	96
Figura 20. Estabilidad general de la eficiencia de tiempos de reacción y la actividad eléctrica cerebral	97
Figura 21. Estabilidad en el tiempo de respuestas correctas y la actividad eléctrica cerebral	99
Figura 22. Estabilidad en el tiempo de tiempos de reacción y la actividad eléctrica cerebral	100
Figura 23. Secuencias de correctas (estabilidad a corto plazo) y la actividad eléctrica cerebral	102
Figura 24. Secuencias de errores (estabilidad a corto plazo) y la actividad eléctrica cerebral	103

Índice de tablas

Tabla 1. Datos de sueño-vigilia previo al registro	72
Tabla 2. Desviación estándar de respuestas correctas y tiempos de reacción por participante	75
Tabla 3. Tendencia lineal de respuestas correctas y tiempos de reacción por participante	77
Tabla 4. Promedio de longitud de las secuencias de respuestas correctas y errores por participante.	85
Tabla 5. Comparaciones entre línea base y privación de sueño en los indicadores de la atención sostenida	93
Tabla 6. Comparaciones entre línea base y privación de sueño en la somnolencia y la actividad eléctrica cerebral.	94
Tabla 7. Correlaciones (r) entre la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral en línea base y en privación de sueño	104

I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la vida las personas realizan una gran variedad de actividades, algunas de ellas implican que las personas respondan solo un momento y algunas otras implican que las personas respondan por periodos prolongados. Las actividades que duran períodos prolongados son muy comunes en la vida diaria, por ejemplo, al entablar una conversación, al conducir un vehículo en la carretera, o al trabajar en fábricas maquiladoras donde las personas tienen que cumplir con toda su jornada laboral realizando una misma actividad.

La atención es un proceso cognoscitivo esencial para realizar este tipo de actividades, incluso actividades que demandan que las personas respondan por periodos prolongados. Para definir la atención es necesario utilizar un modelo neuropsicológico que permita relacionar la atención con un sistema cerebral. El modelo que se utiliza en este trabajo es el propuesto por Valdez (2005) que divide la atención en cuatro componentes: la alerta tónica que es la capacidad general que tiene un organismo para responder ante los estímulos del ambiente, la alerta fásica es la capacidad para responder a un estímulo cuando previamente hubo una señal de advertencia, la atención selectiva es la capacidad de responder de manera específica ante un estímulo en específico y la atención sostenida que es la que se estudia en este trabajo y es la capacidad de mantenerse respondiendo al ambiente durante periodos prolongados.

La atención sostenida se mide con tareas neuropsicológicas que contienen indicadores que evalúan la capacidad de las personas para llevar a cabo actividades que demanden contestar por períodos prolongados. Para medir la atención sostenida

es necesario utilizar tareas que consistan en mantener la atención hacia una fuente de estimulación durante un período prolongado e ininterrumpido, un ejemplo de este tipo de prueba es la tarea de ejecución continua (TEC) que es una tarea neuropsicológica, esto quiere decir que miden una función psicológica que se sabe que está vinculada a una estructura o vía cerebral particular (Rosvold, Mirsky, Sarason, Bransome Jr & Beck, 1956). La atención sostenida se analiza por medio de la TEC a través de tres indicadores: la estabilidad general de la eficiencia, la estabilidad en el tiempo en la tarea y la estabilidad a corto plazo (Valdez, et al., 2010).

La estabilidad general de la eficiencia es qué tanto varía la ejecución al responder a la tarea. La estabilidad en el tiempo de la tarea es qué tanto se mantiene el mismo nivel de ejecución desde que empieza hasta que termina la tarea. La estabilidad a corto plazo de la eficiencia se refiere a cuánto puede mantenerse respondiendo una persona sin cometer errores u omisiones, o cuánto tiempo le toma volver a responder correctamente después de contestar de forma errónea durante la ejecución de la tarea (Valdez, et al., 2010). Las estructuras cerebrales que participan en la atención sostenida son el área dorsal prefrontal derecha, que se encuentra en la parte más anterior de la corteza cerebral y el sistema reticular activador, que está conformado por redes neuronales que están desde el tronco encefálico hasta la corteza cerebral. El sistema reticular se encarga de regular el tono cortical, esto quiere decir que es responsable del aumento en la activación general del sistema nervioso central (arousal) modulando el nivel de alerta y la vigilia (Moruzzi & Magoun, 1949). El sistema reticular se puede activar de forma ascendente, generalmente

debido a estímulos sensoriales, y de forma descendente generados a partir de intenciones del mismo individuo. La estimulación de áreas individuales de la corteza cerebral puede evocar un aumento en la activación (arousal) generalizado por medio de tractos cortico-reticulares descendentes hacia la formación reticular. Las fibras descendentes del sistema reticular activador que van desde el área dorsal prefrontal derecha hasta los núcleos del tálamo y tronco cerebral forman un sistema mediante el cual la corteza participa en la formación de intenciones y proyectos modulando así el trabajo y haciendo posible las formas más complejas de actividad (Luria, 1989), por lo que se puede decir que el área prefrontal dorsal derecha envía señales por el sistema reticular activador descendente para mantener un tono cortical óptimo para responder de manera eficiente a una tarea por periodos prolongados.

Si una persona recibe un cierto nivel de estimulación (extrínseca, intrínseca o ambas), normalmente permanecerá despierta y alerta de su entorno. Cuando la corteza recibe suficientes impulsos, se dice que está excitada o activada, esto quiere decir que una cantidad considerable de neuronas corticales adopta los patrones de actividad adecuados para producir un estado de alerta y estos cambios de actividad pueden registrarse por medio de un electroencefalograma (Magoun, 1950). Debido a lo anterior, al medir la actividad eléctrica cerebral se puede comprender de mejor forma qué sucede con el funcionamiento cerebral mientras la persona lleva a cabo una actividad que requiera de atención sostenida (Ogilvie & Hatsh, 1994).

El electroencefalograma (EEG) es un método no invasivo que registra las señales provenientes de los potenciales postsinápticos de las neuronas de la corteza cerebral (Hazemann & Masson, 1982). Estas señales presentan una serie de

oscilaciones en el EEG que dependiendo de su frecuencia y amplitud se pueden clasificar en diferentes ondas cerebrales conocidas como Delta, Theta, Alfa y Beta (Morillo, 2000). Delta tiene una frecuencia de 0.5 a 3.5 Hz con una amplitud moderada y predominan durante el sueño profundo. Theta tiene una frecuencia de 4 a 7 Hz con una amplitud que no supera los 100 μV y predominan en las primeras etapas de sueño. Alfa tiene una frecuencia de 8 a 12 Hz con una amplitud que varía de 50 a 120 μV y predomina en vigilia durante un estado de reposo. Beta tiene una frecuencia de 13 a 30 Hz con una amplitud que no supera los 15 μV y predomina en vigilia durante la realización de alguna actividad (Hazemann & Masson, 1982; Morillo, 2008).

Una técnica para poder analizar la actividad eléctrica cerebral de forma más específica es el análisis espectral. Este análisis es muy común utilizarlo en estudios en donde relacionan la actividad eléctrica cerebral y el comportamiento (Gross, 2014). El análisis espectral analiza la señal del EEG en un momento determinado y la descompone en la totalidad de frecuencias que sean de interés, en el caso de este estudio, en las frecuencias de las ondas de delta, theta, alfa y beta. Por lo tanto, este análisis transforma la señal de un dominio de tiempo a un dominio de frecuencia (Priestley, 1981).

Existen estudios en donde han registrado la actividad eléctrica cerebral mientras las personas contestan alguna tarea de atención sostenida. Algunos han encontrado una relación entre el decremento de la actividad de ondas beta en zonas prefrontales y una baja ejecución en la tarea. Otros estudios han encontrado que

cuando ocurren más errores hay un incremento en theta y beta y un decremento en alfa (Gale & Edwards, 1983; Makeig & Jung, 1995).

Cabe aclarar que en los estudios antes mencionados no se toman en cuenta los indicadores propuestos párrafos antes para evaluar la atención sostenida (estabilidad general de la eficiencia, estabilidad en el tiempo en la tarea y estabilidad a corto plazo), sino que evaluaron los tiempos de reacción largos y errores de comisión (estímulos contestados de forma incorrecta) y de omisión (estímulos sin contestar) como indicadores de un decremento en su ejecución, por lo que es importante conocer que sucede con los demás indicadores de atención sostenida que se pueden evaluar con la TEC.

La atención sostenida puede verse afectada de gran manera si las personas reducen su dormir (Valdez, et al., 2010). De acuerdo con el planteamiento de la teoría homeostática, el dormir es una necesidad del organismo que proporciona descanso de las actividades diarias como el ejercicio físico y la actividad cognoscitiva (Borbely, 1982). A la condición de dormir menos horas de lo habitual se le conoce como privación parcial de sueño y al no dormir una noche completa se define como privación total de sueño, esta es una buena estrategia para investigar los mecanismos homeostáticos del dormir.

Si una persona se encuentra en privación de sueño es posible que reporte un aumento de somnolencia (percepción subjetiva de la necesidad de dormir o la facilidad de transición entre la vigilia y el sueño) al realizar tareas de larga duración y esto puede causar cambios en su ejecución y en su actividad eléctrica cerebral (Roehrs, Carskadon, Dement & Roth, 2005). Por lo que a continuación se abordará

que sucede con la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral en esta condición de pérdida de dormir.

Definición del Problema

La atención sostenida es un proceso cognoscitivo esencial para realizar cualquier tipo de actividad que dure períodos prolongados, por lo que es importante que se mantenga el nivel de respuesta en un nivel óptimo durante las actividades. Sin embargo, se ha reportado que la privación de sueño en los humanos produce un aumento en la somnolencia y una disminución en la ejecución cognoscitiva de las personas (Cabrera, 2008; Valdez, 2015), de hecho, la atención sostenida es un componente que se ve drásticamente afectado por períodos sin dormir (Lim, & Dinges, 2008).

En un estudio observaron que después de 24 horas de privación de sueño las personas tardaron más tiempo de lo esperado en responder (Van Dongen et al., 2003), aunque en este estudio no especifican si hubo cambios a lo largo de la tarea. Sin embargo, en el estudio de Lim y Dinges (2008) encontraron que una privación de sueño mayor a 24 horas provoca que el rendimiento empeore con el tiempo en la ejecución de la tarea ya que causa que las personas tarden más en responder conforme avanza la tarea (estabilidad en el tiempo de los tiempos de reacción), también se ha observado que incrementan los errores de omisión y comisión (secuencias de errores).

En el estudio de Valdez et al. (2010) aplicaron una TEC a los participantes que permanecieron despiertos durante 28 horas en un laboratorio en condiciones

controladas, donde se registró cada hora y se encontró que hubo un decremento a través de los registros en la estabilidad general de la eficiencia tanto en las respuestas correctas como en los tiempos de reacción; en la estabilidad en el tiempo se observó un decremento a partir de la noche hasta el final del estudio en las respuestas correctas hacia el final de la tarea, mientras que en los tiempos de reacción no hubo cambios; y en la estabilidad a corto plazo durante la noche las secuencias de correctas disminuyeron y las secuencias de errores aumentaron.

Por otro lado, se ha observado que la privación de sueño también genera cambios en la actividad eléctrica del cerebro, lo esperado es que cuando se está realizando alguna actividad que demande carga cognitiva durante la vigilia predomine la actividad beta (>12 Hz) (Carskadon & Dement, 2011; Rechtschaffen & Kales, 1968). Sin embargo, varios estudios han encontrado que después de la privación de sueño aumenta la potencia de delta, theta y alfa, y el aumento en theta lo han relacionado con el aumento en la somnolencia en las personas (Strijkstra, 2003; De Gennaro, Ferrara & Bertini, 2001; Cajochen, et al., 1995).

El mantenerse despierto durante una gran cantidad de horas provoca cambios en la organización funcional del cerebro e impacta la capacidad de responder durante la vigilia (Cabrera, 2008), por eso, el tomar en cuenta una medida fisiológica es importante ya que ayuda a describir de mejor manera los cambios en el comportamiento, por ejemplo, al comparar las respuestas de la TEC con la progresión de los cambios en la actividad eléctrica cerebral.

Sin embargo, son pocos los estudios que analizan la actividad cerebral mientras contestan la tarea de atención sostenida estando en privación de sueño. Por lo que tomando en cuenta los antecedentes mencionados, se puede hacer el

siguiente cuestionamiento, si una persona se encuentra en privación de sueño y tiene que responder una tarea de larga duración, ¿cómo será su atención sostenida y su actividad eléctrica cerebral mientras la conteste?

Justificación de la Investigación

La privación de sueño puede causar que el rendimiento de las personas baje en el trabajo cometiendo errores o provocando accidentes, ya que no se encuentran en un nivel óptimo para responder a las actividades que se les demande durante periodos prolongados. En México la ley federal del trabajo establece que las personas tienen derecho a trabajar máximo 48 horas a la semana (Senado de la república, 2010), sin embargo, la Organización Internacional del Trabajo perteneciente a la Organización de las Naciones Unidas reportó que un 28% de la población en México trabaja más de estas horas establecidas, esto quiere decir que son aproximadamente 29.5 millones de personas (International Labour Organization, 2021). Esto puede deberse a que muchas personas obtienen un subempleo lo cual causa que trabajen durante 16 horas (8 horas cada turno) y esto genera que las personas permanezcan despiertas más tiempo en el día y duerman menos horas de las necesarias lo que puede causar que tengan errores y/o accidentes en sus actividades diarias por la falta de sueño.

Si una persona normal recibe un cierto nivel de estimulación (extrínseca, intrínseca o ambas), normalmente permanecerá despierta y alerta de su entorno. Cuando la corteza cerebral recibe suficientes estímulos se activa, esto quiere decir que se produce un estado de alerta (Magoun, 1950). Sin embargo, si la persona se encuentra en privación de sueño los estímulos recibidos pueden no ser suficientes

para producir un estado de alerta ocasionando que las personas no se encuentren en un nivel de activación óptimo para responder. Por ejemplo, se ha observado que en los hospitales en donde el personal tiene horarios extensos y duermen muy pocas horas, la privación de sueño afecta en gran medida su desempeño en el trabajo, cometen errores de medicación y aumentan las lesiones por pinchazos de agujas (Castillo, 2019).

Hablando de atención sostenida, algunos estudios han encontrado que un aumento en la actividad de theta se relaciona con un decremento en la ejecución durante tareas de periodos prolongados ya que se observaron un aumento en los tiempos de reacción y un aumento en los errores cometidos tanto de comisión y omisión (Cabrera, 2008; Corsi, et al., 1996; Makeig et al., 2000). Sin embargo, estos estudios no evalúan los indicadores de atención sostenida (estabilidad general de la eficiencia, estabilidad en el tiempo en la tarea y estabilidad a corto plazo) que se mencionan en este trabajo para observar cómo fue su ejecución a lo largo de toda la tarea y esto es importante ya que existen trabajos en donde las personas tienen que mantenerse respondiendo durante periodos prolongados como los choferes de autobús o transportes de carga debido a tienen que manejar en carretera durante el día y la noche.

Chisvert-Perales & Monteagudo-Soto (2001) reportaron que, al conducir, los factores que producen más accidentes en carretera son la fatiga por causa de sueño (20%) y la distracción, es decir, falta de atención (28%). La mayoría de estos accidentes causan lesiones graves o mortales y ocurren con mayor frecuencia al amanecer. Lo anterior tiene sentido ya que se ha observado que aproximadamente de 20 a 25 h de vigilia prolongada producen una disminución en el rendimiento

equivalentes a las observadas con una de alcohol en sangre de 0,10%. Estos son niveles de intoxicación por alcohol considerados inaceptables al conducir, trabajar y/u operar equipos peligrosos ya que pueden ocurrir accidentes (Lamond & Dawson, 1999).

Al analizar simultáneamente los cambios en el nivel de activación cerebral y la capacidad de las personas para sostener la atención durante periodos sin dormir puede ayudar a comprender mejor como se manifiesta de forma fisiológica y conductual los efectos de la privación de sueño en la atención sostenida. Con esto se espera poder justificar de mejor manera el por qué es importante que las personas no se encuentren en privación de sueño al realizar actividades que duren periodos prolongados y así evitar que cometan errores a lo largo de la actividad y sufran algún accidente.

Objetivos

Objetivo General

Determinar los efectos de la privación de sueño en la atención sostenida y en la actividad eléctrica cerebral.

Objetivos Específicos

Determinar los efectos de la privación de sueño en la atención sostenida.

Determinar los efectos de la privación de sueño de la actividad eléctrica cerebral.

Correlacionar los efectos de la privación de sueño en la atención sostenida con los de la actividad eléctrica cerebral.

Hipótesis o Preguntas de Investigación

La privación de sueño disminuirá la atención sostenida, así como aumentará la potencia de las bandas de theta y delta en la actividad eléctrica cerebral.

Limitaciones y Delimitaciones

Este estudio se realizó en personas de entre 18 a 22 años, por lo que los resultados de este estudio se limitan a adultos jóvenes y no se pueden generalizar a cualquier edad, ya que la arquitectura del sueño cambia a lo largo de la vida (Carskadon, & Dement, 2011) y por lo tanto la privación de sueño afecta de diferente manera a niños, adultos y adulto mayor.

Otra limitación es que, solo se analizó la actividad eléctrica del canal C3 del electroencefalograma, con el fin de analizar la actividad general del cerebro. Al analizar la señal de otros canales se podría observar los cambios en la actividad eléctrica de zonas específicas de la corteza y complementar los resultados de este estudio.

El objetivo es ver los efectos de la privación de sueño sobre la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral por lo que solo se analizaron dos momentos, antes y después de la privación, sin embargo, tanto la atención como la actividad cerebral también son influenciados por un factor circadiano, pero para analizar esto es necesario registrar el EEG y aplicar la TEC al menos cada hora durante más de un día, lo cual será importante analizar en estudios posteriores.

II. MARCO TEÓRICO

En este apartado se define la atención sostenida, cómo se le ha llamado con el paso del tiempo, qué estructuras cerebrales la regulan, la tarea con la que se puede evaluar y cuáles son los indicadores de la tarea a tomar en cuenta para evaluarla. También se habla de la actividad eléctrica cerebral, el sueño y como la privación de sueño afecta a la atención sostenida y a la actividad eléctrica cerebral durante la vigilia.

Atención sostenida

La atención es un proceso fundamental para realizar cualquier tipo de actividad (James, 1892; Wundt, 1902), por lo que es importante que se mantenga la atención en un nivel óptimo. No existe un consenso universal de qué definición es la más acertada para el término de atención (Rivera et. al, 2017), algunos autores lo han tratado de definir desde un enfoque unitario y otros desde un enfoque por componentes.

El enfoque unitario menciona que la selección y la respuesta de un estímulo y es un elemento esencial para la atención (Cohen, 2014). Por otro lado, está el hecho de que no solo es importante atender un estímulo, sino también dejar de atender otros estímulos externos, por lo que se menciona que la atención implica filtrar cierta información sensorial para procesarla con detenimiento e impedir la entrada de otra para que no se siga procesando (Broadbent, 1962).

Sin embargo, con el paso de los años se han realizado diversas investigaciones aplicando tareas neuropsicológicas en pacientes con daño cerebral y utilizando técnicas de neuroimagen, en donde se ha observado que la atención depende de diversas redes neuronales distribuidas por la corteza cerebral y estructuras subcorticales (Rios-Lago, Muñoz-Céspedes, & Paúl-Lapedriza, 2007). Por esta razón muchos autores coinciden en que la atención no puede ser un proceso unitario, sino un conjunto de diferentes mecanismos que trabajan en conjunto de manera coordinada (Londoño, 2009). Esto se refuerza con los resultados de estudios de rehabilitación de la atención que utilizan un modelo unitario ya que se ha visto muy poca efectividad en sus tratamientos. Desde este punto de vista se plantea la aplicación de diferentes tareas atencionales de forma generalizada y como consecuencia han obtenido resultados muy diversos, algunos no encuentran mejoría significativa y en los que sí encuentran alguna mejoría no queda claro si es en la atención o en algún otro proceso implicado en la realización de la tarea (Rios-Lago, Muñoz-Céspedes, & Paúl-Lapedriza, 2007).

En cuanto al enfoque por componentes, consiste en que la atención se subdivide en varias capacidades que trabajan en conjunto para poder responder a los estímulos que se presenten en el medio, y a lo largo del tiempo. Se ha observado que ésta es la mejor forma de definir la atención ya que relacionan los componentes con el funcionamiento de un sistema cerebral y debido a esto se les consideran como modelos neuropsicológicos (Posner & Rafal, 1987). De este modo, se han propuesto diferentes modelos para explicar de la manera más fiel posible cada uno de dichos componentes.

Algunos modelos que incluyeron contestar por periodos prolongados como componente son, por el ejemplo, el de Posner y Boies (1971), ellos propusieron 3 subsistemas de la atención: la orientación de eventos sensoriales, la detección de señales para un procesamiento focalizado y el mantenimiento de vigilancia o estado de alerta. Cohen (2014) propuso un modelo muy parecido en donde menciona que la atención implica la capacidad de responder al medio, seleccionar una señal sensorial y una respuesta específica y poder sostener nuestra respuesta en el tiempo; este modelo se basa en el propuesto por Posner y Rafal (1987). Posteriormente Valdez, et al. (2005) retoman este modelo de Posner y Rafal y proponen que la atención cuenta con cuatro componentes: alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva y atención sostenida. A diferencia de los modelos de Posner y Cohen, este último modelo considera que los componentes de la atención requieren de la participación de dos sistemas cerebrales (sistema reticular y área prefrontal), por lo que este modelo se considera como un modelo neuropsicológico de la atención y es por esta razón es el que se utiliza en este trabajo. A continuación, se define cada uno de los componentes de la atención.

La alerta tónica es la capacidad que tiene un organismo para responder de forma eficiente ante un estímulo del ambiente, por ejemplo, cuando dos personas están en el parque jugando a lanzar la pelota y uno le lanza al otro la pelota de forma imprevista y la atrapa. La alerta fásica es la capacidad para responder a un estímulo cuando previamente hubo una señal de advertencia, por ejemplo, cuando una persona le avisa a la otra que le lanzará la pelota y la otra persona se prepara para atraparla. La atención selectiva es la capacidad de responder ante un estímulo en específico, por ejemplo, cuando en el parque hay más personas jugando a lanzar la

pelota, pero estas dos personas solo atrapan la que se lanzan entre ellos. La atención sostenida es la capacidad de responder a un estímulo durante un tiempo prolongado, por ejemplo, cuando estas dos personas juegan a lanzarse la pelota por un largo tiempo sin parar (Posner & Rafal, 1987).

Algunas actividades implican que la persona responda solo un momento y algunas otras implican que la persona responda por un período de tiempo prolongado, por ejemplo, al conducir un automóvil, al estudiar, al practicar algún deporte o al trabajar. Debido a lo anterior es importante tomar en cuenta la atención sostenida en el modelo que se vaya a utilizar.

Una característica de la atención sostenida es que es una capacidad limitada, un claro ejemplo de esto se puede ver cuando una persona tiene que contestar alguna tarea durante periodos muy largos, ya que después de cierto tiempo su atención sostenida disminuye (Mackworth, 1947).

Como se mencionó anteriormente, la atención sostenida se define como la capacidad de responder al ambiente de forma eficiente durante un tiempo prolongado. Sin embargo, es importante mencionar que no siempre se le llamó de esta manera, algunos otros conceptos con el que se le conoció fue el de vigilancia y concentración.

Henry Head en 1926 definió el concepto de vigilancia como la preparación tanto fisiológica como psicológica para responder, esta definición la utilizó también Mackworth (1947) en sus estudios. También se definió como la habilidad que tienen los humanos para monitorear su entorno por largos períodos de tiempo (Cohen, 2014). En cuanto al concepto de concentración lo propuso James (1950) y lo definió como un esfuerzo que constantemente se está reactivando, debido a que

consideraba que no era posible mantener la atención enfocada en un objeto o tarea durante más de unos segundos. Sin embargo, estas definiciones mencionadas anteriormente no corresponden con un modelo neuropsicológico, por lo cual en este trabajo se utiliza el modelo propuesto por Valdez, et al. (2005) que lo maneja como atención sostenida y lo incluye como parte de los cuatro componentes previamente descritos que son necesarios para la atención. También propone tres indicadores para poder medirla, la estabilidad general de la eficiencia, la estabilidad en el tiempo en la tarea y la estabilidad a corto plazo. Estos indicadores se definirán en el siguiente apartado.

Cuando se habla de atención sostenida es común encontrarse con los conceptos de esfuerzo, que se puede definir como un nivel de activación constante que producen las vías descendentes para contestar durante el tiempo; y fatiga, que se refiere a un estado subjetivo de cansancio que reduce la capacidad del individuo para responder eficientemente en el tiempo (Cohen, 2014). Se puede modificar la atención sostenida si existen cambios en el nivel de activación que dirige la actividad (vías descendentes) y del establecimiento de metas que depende del área prefrontal (Valdez, 2005).

Para mantener la atención influye el tiempo que pasen contestando la tarea, la variabilidad y velocidad en la que se presentan los estímulos y la complejidad de la tarea (Broadbent, 1965). Tareas de atención sostenida con duraciones de tiempo muy largas (más de 30 minutos) provocan que las personas reporten fatiga (Cohen, 2014). En un estudio se les pidió a los participantes que respondieran en una tarea de ejecución prolongada cada vez que apareciera una señal en un radar por dos horas y se observó que después de la primera media hora mostraron rasgos de

fatiga ya que el porcentaje de estímulos perdidos aumentaba. Sin embargo, si tenían momentos de descanso, la fatiga no se presentaba (Mackworth, 1948).

En el mismo estudio de Mackworth (1948) después de encontrar que la ejecución era mejor dentro de la primera media hora, analizaron los primeros 20 minutos en donde encontraron que el porcentaje de estímulos omitidos variaba dependiendo del tiempo que transcurría entre un estímulo a otro, mientras mayor era el tiempo se perdían más estímulos y mientras menor era se perdían menos. Por su parte, Baddeley y Colquhoun (1969) encontraron que, aunque la tarea dure un tiempo largo (40 minutos), mientras los estímulos se presenten a una alta velocidad la precisión de respuesta se mantiene y empeora si se presentan los estímulos a una baja velocidad. Sin embargo, si la velocidad entre los estímulos se presenta en un ritmo constante se puede generar un fenómeno de habituación que reduce los tiempos de reacción ya que las personas pueden predecir la aparición del siguiente estímulo, por lo que es importante que la velocidad de la aparición entre los estímulos sea variable (dentro de un rango de tiempo) durante toda la tarea (Borrani, 2011).

En cuanto a la complejidad de la tarea, en un estudio se le presentó a un grupo de personas una tarea con un solo objetivo y otra con tres objetivos que cumplir, en la tarea con un solo objetivo presentaron un decremento en su atención sostenida ya que cometieron más errores (secuencias de errores) que, en la otra tarea de tres objetivos, concluyeron que debido a que la tarea con tres objetivos requiere un mayor esfuerzo las personas estaban más alertas (Jerison, 1957). También se ha visto esto incluso en privación parcial de sueño, en un estudio se les indicó a los participantes, que solo habían dormido de 2 a 4 horas, que contestaran

dos tareas de vigilancia, una más compleja que la otra, como resultado obtuvieron un mejor rendimiento en la de mayor dificultad que en la otra de menor dificultad (Iñiguez, et al., 2000). El hecho de que en las tareas más sencillas presenten peor ejecución demuestra que es más difícil mantener la atención cuando es más pasiva la tarea, debido a que existe una menor demanda de respuesta.

En el siguiente apartado se habla de cómo se puede evaluar la atención sostenida.

Evaluación de la atención sostenida

Para evaluar la atención sostenida es necesario utilizar tareas neuropsicológicas que contengan indicadores de la capacidad de las personas para llevar a cabo un comportamiento que implica el uso de la función cerebral a evaluar (Borrani, 2011).

Para medir la atención sostenida a través del comportamiento es necesario utilizar tareas que consistan en mantener la atención hacia una fuente de estimulación durante un período prolongado e ininterrumpido de tiempo, en el que se presenten una serie de estímulos que pueden ser destellos de luz, letras, figuras, etc., ante los cuales los participantes deben permanecer alertas y responder cuando aparezcan las señales (Iñiguez, Montañés & Vayá, 2000). Un ejemplo de este tipo de prueba es la tarea de ejecución continua (TEC) que es una tarea neuropsicológica que fue diseñada para evaluar la atención y detectar daño cerebral en adultos y niños (Rosvold et al., 1956).

Cuando se diseñó esta tarea tenía dos versiones, en la primera versión los participantes tenían que presionar un botón cuando apareciera la letra X (TEC-X) y

en la otra versión los participantes tenían que presionar el botón solo si la letra X aparecía después de la letra A (TEC-AX), ambas versiones tenían una duración de 10 minutos. Al comparar los resultados de la ejecución entre pacientes con alguna patología cerebral no especificada y personas sin ningún tipo de patología, se encontró que los pacientes con patología tuvieron una peor ejecución por lo que los investigadores llegaron a la conclusión de que las dificultades para responder a la TEC están relacionadas con el mantenimiento de la alerta en periodos prolongados, es decir, con la atención sostenida (Rosvold et al., 1956).

A estas versiones de la TEC se les realizaron algunas modificaciones como, por ejemplo, cambiar los estímulos de letras a números, modificar la velocidad de aparición de los estímulos (más rápidos) y aleatorizar la velocidad de aparición entre los estímulos (Riccio et al., 2002).

El nivel de atención de una persona se puede hacer operativo equiparándolo a su rendimiento en términos del número de estímulos a los que responde o no responde (respuestas correctas e incorrectas, y omisiones), o también en términos de la rapidez con la que el sujeto responde al estímulo presentado (tiempos de reacción) (Sierra, et al., 1993). Sin embargo, estas mediciones no son suficientes para evaluar la atención sostenida ya que nos dan información de cómo las personas contestan toda la tarea y no cómo fue su rendimiento a lo largo de ella.

El análisis de la atención sostenida por medio de la TEC es a través de tres indicadores: la estabilidad general de la eficiencia, la estabilidad en el tiempo de la tarea y la estabilidad a corto plazo (Valdez, et al., 2010). La estabilidad general de la eficiencia es qué tanto varía la ejecución cuando respondemos una tarea. Este

indicador se puede medir con la desviación estándar (DE), la baja variabilidad significa un alto nivel de estabilidad de la eficiencia (es decir, buena capacidad de atención sostenida). La estabilidad en el tiempo de la tarea es qué tanto se mantiene el mismo nivel de ejecución desde que empieza hasta que termina la tarea. Se puede medir mediante un coeficiente de regresión lineal de las respuestas correctas y el tiempo de reacción durante el curso de una tarea. Un valor de coeficiente lineal casi cero indica el mantenimiento de un nivel similar de respuesta desde el principio hasta el final de una tarea (esto representa una buena capacidad de atención sostenida). Una reducción de la atención sostenida produce una disminución en el rendimiento con el tiempo en la tarea (es decir, mayores valores negativos del coeficiente de regresión lineal). La estabilidad a corto plazo de la eficiencia se refiere a cuánto puede mantenerse respondiendo una persona sin cometer errores u omisiones, o cuánto tiempo le toma volver a responder correctamente durante la ejecución de la tarea. Se puede medir mediante secuencias de respuestas correctas y secuencias de errores. Un alto nivel de atención sostenida produce secuencias de correctas más largas y frecuentes, y también produce secuencias de errores más cortas y menos frecuentes (Valdez, et al., 2010).

En el siguiente apartado se abordan cuáles son las estructuras cerebrales que se han relacionado con el proceso de la atención sostenida.

Estructuras cerebrales relacionadas con la atención sostenida

William James (1890) mencionó dos modos de atención, activa cuando la persona tiene metas individuales y pasiva cuando es controlada por estímulos

externos. Más tarde, Posner (1980) retoma lo propuesto por James ya que menciona que existen dos sistemas; el sistema exógeno que responde automáticamente a estímulos y el sistema endógeno que es controlado por las intenciones del individuo y sus expectativas. Este último se ha relacionado con la regulación de la atención sostenida por medio de la interacción del área prefrontal y la formación reticular. Es importante mencionar esto debido a que se aborda la atención sostenida desde un enfoque neuropsicológico, por lo que es necesario mencionar las estructuras cerebrales que participan en este proceso cognoscitivo.

El sistema reticular activador está conformado de redes neuronales que van desde la base del encéfalo (tronco encefálico), pasa a través de múltiples estructuras intermedias hasta la corteza cerebral y se encarga de regular el tono cortical, esto quiere decir que es responsable de la activación general del sistema nervioso central (arousal) modulando el nivel de alerta y la vigilia (Moruzzi & Magoun, 1949). El mantenimiento de un óptimo tono cortical es esencial para el curso organizado de la actividad cerebral, por lo tanto, la actividad de estas neuronas reticulares influye en la aparición de cambios en el comportamiento (Luria, 1989).

Esta estructura es importante ya que lesiones en el sistema reticular causan una baja capacidad para responder al ambiente en general y producen que las personas permanezcan con un bajo nivel de alerta y una gran propensión a dormir durante la mayor parte del tiempo y en casos extremos un estado de coma (Hamui-Sutton et al., 2013).

El sistema reticular se puede activar de forma ascendente, generalmente debido a estímulos sensoriales, y de forma descendente generados a partir de intenciones del mismo individuo. El sistema activador ascendente se conforma por

dos vías, la vía dorsal y la vía ventral. La vía dorsal se origina en el tallo cerebral y mesencéfalo que envían proyecciones (colinérgicas y glutaminérgicas) hacia el tálamo para después llegar hasta la corteza. La vía ventral también se origina desde el tallo cerebral y el mesencéfalo enviando proyecciones hacia el hipotálamo, prosencéfalo basal (colinérgico) y medio (dopaminérgico) hasta llegar a la corteza. El locus coeruleus (noradrenérgico) y el rafe dorsal (serotoninérgico) contribuyen en ambas vías enviando proyecciones directas hacia la corteza (Brown et al, 2012).

Las proyecciones cortico-reticulares pasan por las mismas vías, pero en dirección opuesta, esto quiere decir que comienzan en la corteza y bajan hasta el tallo cerebral subordinando estas estructuras inferiores al control de las señales provenientes de la corteza para la modulación y modificación del tono cortical. De esta forma la estimulación de áreas individuales de la corteza cerebral puede evocar un arousal generalizado por medio de estos tractos cortico-reticulares de las estructuras descendentes de la formación reticular. Las fibras descendentes que van desde la corteza prefrontal (orbital, medial y dorsal) hasta los núcleos del tálamo y tronco cerebral forman un sistema mediante el cual la corteza participa directamente en la formación de intenciones y proyectos modulando así el comportamiento y haciendo posible las formas más complejas de actividad como la atención sostenida (Luria, 1989).

El área prefrontal se encuentra en la parte más anterior de la corteza cerebral y regula el mantenimiento de la atención por períodos prolongados (Luria, 1989; Stuss & Alexander, 2000). Se ha visto que la activación en zonas prefrontales se relaciona con una buena ejecución de actividades que demandan carga cognitiva (Ray & Cole, 1985), una de estas actividades puede ser la atención sostenida. Se ha

observado que las personas con lesiones en zonas mediales de áreas prefrontales tienen dificultad para mantener la atención durante el tiempo (Homskaya, 1972; Valdez, 2005). Por ejemplo, en un estudio aplicaron a un grupo control (sin lesión), a un grupo de pacientes con lesión en la circunvolución frontal inferior derecha y a un grupo con lesión en la circunvolución parietal inferior derecha una “tarea de respuesta de atención sostenida” que consiste en presentar repetidamente una serie aleatoria de dígitos del 1 al 9 y los sujetos deben responder a cada dígito excepto al dígito '3'. Encontraron en los pacientes con lesión en la circunvolución frontal inferior derecha que aumentaron los errores de comisión a comparación del grupo control, mientras que en los pacientes con lesión en la circunvolución parietal inferior derecha no encontraron algún resultado significativo en comparación al grupo control (Molenberghs, et al., 2009).

En otro estudio compararon un grupo con lesión en el lóbulo frontal derecho (anterior al surco central y superior a la cisura de Silvio), con un grupo con lesión frontal izquierda y un grupo control (personas sin lesión) emparejados por edad y nivel de estudios, se les aplicó una tarea de tiempos de reacción en donde debían contestar cada vez que apareciera una “X” y también una TEC-X en donde, a diferencia de la anterior tarea, aparecían diferentes letras de manera aleatoria pero solo debían responder cuando apareciera la letra “X”. Encontraron que, a comparación de los otros grupos, los pacientes con lesión derecha empeoraron con el tiempo en la TEC, ya que dividieron la tarea en dos partes (primera mitad y segunda mitad de la tarea) y observaron que en la segunda mitad los tiempos de reacción fueron más largos y aumento la cantidad de estímulos omitidos (Rueckert & Grafman, 1996).

Esterman et al., (2013) hicieron un estudio en donde aplicaron una TEC modificada en donde aparecían diferentes imágenes de paisajes de ciudades y paisajes de montañas, los participantes solo debían presionar el botón cada que apareciera una imagen con un paisaje de ciudad y por medio de una resonancia magnética funcional observaron su actividad cerebral mientras respondían la tarea. De acuerdo con su desempeño dividieron en dos momentos la tarea, uno en donde la tarea era menos exigente y sus respuestas fueron más estables y otro en donde la tarea fue más exigente y sus respuestas fueron más variables. Encontraron que cuando cometieron errores mientras la tarea fue más exigente, hubo una disminución de actividad en la vía dorsal frontoparietal (corteza dorsal prefrontal bilateral y surco interparietal bilateral) y en el área parahipocampal. Por otro lado, al cometer errores cuando la tarea fue menos exigente hubo un incremento en la actividad de la vía ventral frontoparietal (corteza ventral prefrontal, giro cingulado posterior y corteza parietal bilateral). Con esto concluyeron que la vía dorsal frontoparietal participa cuando se realiza una tarea de mayor exigencia y una disminución en la actividad de esta vía puede deberse a una “sobrecarga” reflejo de un posible agotamiento provocando errores. Las tareas con menor exigencia pueden ocasionar una “baja carga”, reflejo de una automatización de las respuestas, provocando errores y un aumento en la actividad de la vía ventral frontoparietal, lo cual puede deberse a un esfuerzo que se realiza para poder seguir contestando de manera eficiente. De esta manera ellos mencionan la importancia de estas dos vías para una buena ejecución de la atención sostenida.

De acuerdo con los estudios antes mencionados, se puede decir que el área prefrontal dorsal derecha envía señales por las vías cortico reticulares para mantener

un tono cortical óptimo para responder de manera eficiente una tarea por periodos prolongados, comprendiendo de esta forma como funciona a nivel cerebral la atención sostenida, por lo que si alguna de estas estructuras sufre algún daño es posible que la atención sostenida se vea afectada.

Debido a lo anterior, si se miden indicadores de actividad fisiológica como la actividad eléctrica de las neuronas a través de herramientas como el electroencefalograma (EEG), se puede comprender de mejor forma que sucede con el funcionamiento cerebral mientras la persona lleva a cabo una actividad que requiera de atención sostenida (Ogilive & Hatsh, 1994). En la siguiente sección se menciona como se puede evaluar la actividad eléctrica cerebral con el uso de un electroencefalograma.

Evaluación de la actividad cerebral por medio del EEG

Si una persona normal recibe un cierto nivel de estimulación (extrínseca, intrínseca o ambas), normalmente permanecerá despierta y alerta de su entorno. Cuando la corteza recibe suficientes impulsos aferentes o eferentes, se dice que está excitada o activada, esto quiere decir que una cantidad considerable de neuronas corticales adopta los patrones de actividad adecuados para producir un estado de alerta y estos cambios de actividad pueden registrarse por medio de un electroencefalograma (Magoun, 1950). Por ejemplo, se ha observado que lesiones en el sistema reticular, dependiendo del nivel de la sección lesionada, puede producir un patrón eléctrico de 1-3 Hz permanente ocasionando un estado de coma en el cual

no hay reacción conductual ni actividad rápida cortical ante los estímulos del ambiente (Garrido, 2006).

La evaluación de la actividad eléctrica cerebral mediante el EEG puede proporcionar un índice indirecto de la regulación cortical del tallo cerebral y su papel en la atención sostenida. Como se mencionó en el apartado anterior, se han identificado los sistemas de proyección que desempeñan funciones en la activación y atención: el prosencéfalo basal colinérgico, el noradrenérgico del núcleo locus coeruleus (LC), el haz dopaminérgico del prosencéfalo medio y el núcleo serotoninérgico del rafe dorsal (ascendente) (Brown et al, 2012) y las proyecciones provenientes de la corteza hacia el tálamo y el sistema reticular (descendentes) que se caracterizan por el incremento de actividad de interneuronas GABAérgicas (Krone et al., 2015) Esto proporciona una base para conocer cuál es la relación entre la atención sostenida y la activación cortical (Parasuraman, 2000).

El EEG se inventó en el año 1929 cuando Hans Berger hizo el primer registro electroencefalográfico en humanos en donde encontró un ritmo de 10 ciclos por segundo proveniente de las neuronas que se conoce como ritmo alfa. Años más tarde Toennies (1933) desarrolló un oscilógrafo de tinta para poder registrar las señales en papel; actualmente se almacena la información en una computadora.

El EEG es un método no invasivo que registra las señales eléctricas provenientes de los potenciales postsinápticos de las neuronas de la corteza cerebral (Hazemann & Masson, 1982), esto quiere decir que, cuando se activan las neuronas se producen flujos de corrientes locales, el EEG mide estas corrientes durante las

excitaciones sinápticas de las dendritas de muchas neuronas de la corteza. Más específicamente, las diferencias de potenciales eléctricos son resultado de potenciales graduados postsinápticos sumados de las neuronas que crean dipolos eléctricos entre el soma y las dendritas. Esta corriente consiste en iones de sodio, potasio, calcio y cloro que se bombean a través de los canales de la membrana neuronal. Grandes cantidades de neuronas activas pueden generar actividad eléctrica registrable en la superficie de la cabeza ya que la corriente tiene que penetrar a través de las meninges, cráneo, piel, hasta llegar al electrodo, por lo que las señales eléctricas débiles detectadas por los electrodos se amplifican masivamente y luego se muestran en la computadora (Teplan, 2002).

Estas señales presentan una serie de oscilaciones que, dependiendo de su frecuencia y amplitud, se pueden clasificar en diferentes ondas cerebrales, Delta, Theta, Alfa y Beta (Morillo, 2000). Delta tiene una frecuencia de 0.5 a 3.5 Hz con una amplitud moderada y predomina durante las etapas 3 y 4 de sueño. Theta tiene una frecuencia de 4 a 7 Hz con una amplitud que no supera los 100 μV y predominan en las primeras dos etapas de sueño. Alfa tiene una frecuencia de 8 a 12 Hz con una amplitud que varía de 50 a 120 μV y predomina en vigilia durante un estado de reposo. Beta tiene una frecuencia de 13 a 30 Hz con una amplitud que no supera los 15 μV y predomina en vigilia durante la realización de alguna actividad que demande carga cognoscitiva (Hazemann & Masson, 1982; Morillo, 2008).

Como se mencionó en párrafos anteriores, el EEG registra la señal de muchas neuronas, estas neuronas disparan señales en diferente frecuencia, por ejemplo, si colocamos un electrodo en una zona determinada de la corteza, registrará la señal

proveniente de las neuronas que se encuentren cerca, unas neuronas disparando en frecuencia de alfa, otras en beta, y otras en theta, pero si la mayoría de las neuronas está en frecuencia de theta, en el registro visual del EEG se observan ondas theta. Por esta razón, se han desarrollado diferentes técnicas aparte del análisis visual del EEG para poder analizar la actividad eléctrica cerebral, una de estas técnicas es el análisis espectral (Priestley, 1981).

El análisis espectral por medio de modelos matemáticos como las transformaciones de Fourier descomponen series de tiempo estacionarias para convertirlas a un dominio de frecuencia (número de ciclos por unidad de tiempo), por lo que el objetivo de este análisis es estudiar una señal que se presenta en el dominio del tiempo, pero en el dominio de las frecuencias (Priestley, 1981). Esto quiere decir que en un registro de EEG podemos seleccionar un canal en un momento específico del registro y realizar un análisis espectral para descomponer esa señal en la totalidad de frecuencias que interesen, por ejemplo, en el caso de este estudio en las frecuencias de las ondas de delta, theta, alfa y beta. Este análisis es muy común utilizarlo en estudios en donde relacionan la actividad eléctrica cerebral y el comportamiento (Gross, 2014) (Figura 1). Tomar en cuenta una medida fisiológica es importante ya que ayuda a describir de mejor manera los cambios en el comportamiento, por ejemplo, al comparar las respuestas de una tarea (aciertos, errores y tiempos de reacción) con la progresión de los cambios fisiológicos (actividad eléctrica cerebral).

A continuación, se hablará de la vigilia y el sueño para comprender como la reducción del dormir puede afectar tanto a la atención sostenida como a la actividad eléctrica cerebral.

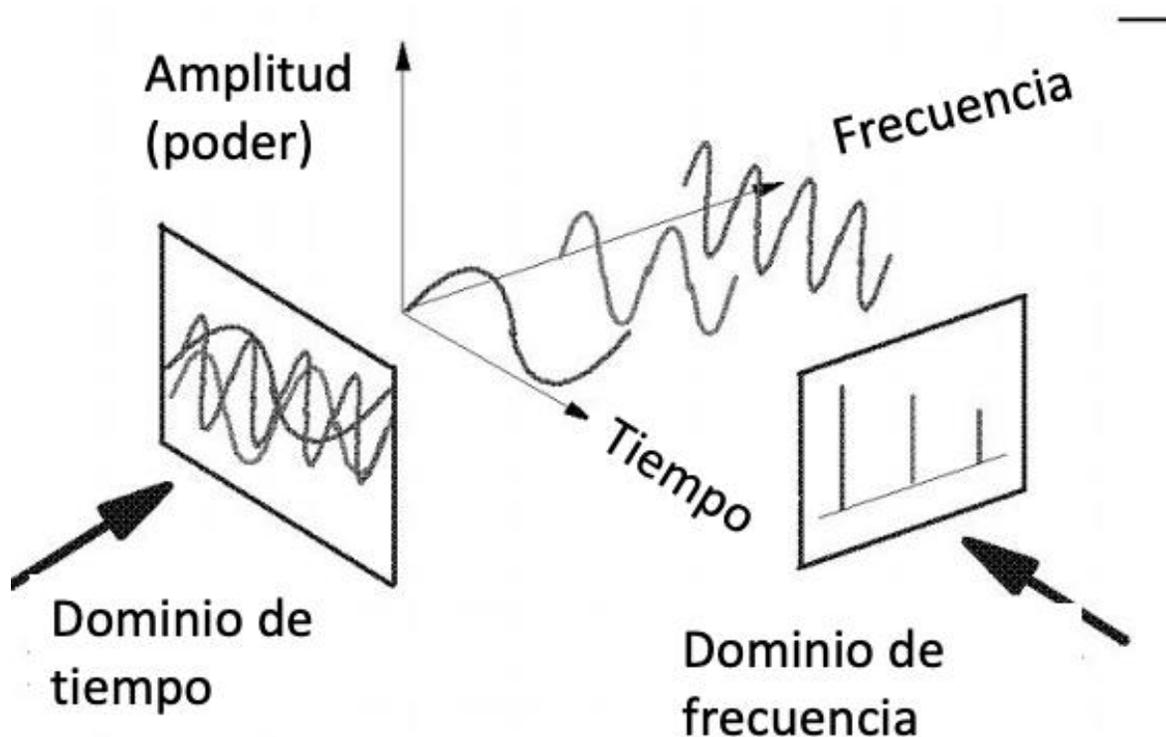


Figura 1. *Análisis espectral*

Nota: Al centro de la figura se observan tres ejemplos de ondas las cuales se explican por tres flechas, la que apunta hacia arriba indica la amplitud, la que apunta de forma diagonal hacia arriba a la derecha la frecuencia y la que apunta de forma diagonal hacia abajo a la derecha el tiempo. En el rectángulo de la izquierda se observa como en el dominio de tiempo las frecuencias están mezcladas entre sí, al transformarlas a un dominio de frecuencia se puede observar la potencia de cada una por separado como en el rectángulo de la derecha.

Atención sostenida y actividad eléctrica cerebral en vigilia

Los seres humanos pasan cíclicamente de un estado de vigilia a uno de sueño y viceversa, estos estados se definen por características conductuales y fisiológicas. Durante la vigilia el individuo se encuentra activo e interactúa con el medio ya que es capaz de recibir estímulos del ambiente que lo rodea y puede responder ante estos (Imirizaldu, 2018).

Como se mencionó en el apartado de las estructuras que participan en el mantenimiento de la atención sostenida, para el mantenimiento de la vigilia son importantes las proyecciones del tronco encefálico, más específicamente las proyecciones excitadoras del prosencéfalo basal y medio hacia el tálamo y la corteza cerebral. Se han identificado dos vías principales para la activación de la corteza desde el tronco encefálico, una a través del tálamo (colinérgicas y glutaminérgicas) y otra a través del prosencéfalo basal y el hipotálamo cercano, así como las proyecciones directas de locus coeruleus (noradrenalina) y el rafe dorsal (serotonina) a la corteza cerebral (Brown, 2012).

En el EEG, cuando la persona está en estado de reposo se presenta alfa (8-12 Hz) que tiene una amplitud generalmente inferior a 50 microvolts (μV) (Carskadon & Dement, 2011). Al realizar alguna actividad que requiera carga cognitiva o la presencia de estímulos visuales se atenúa este tipo de actividad, por lo que se observa de mejor manera cuando la persona tiene los ojos cerrados. Este tipo de actividad se produce principalmente en la corteza visual (lóbulo occipital) y núcleos visuales del tálamo y desde estas áreas se difunden hacia otras zonas. Una reducción de este tipo de actividad puede indicar el aumento de somnolencia, principalmente si se asocia con la aparición de movimientos oculares lentos (Brown, 2012).

Otro tipo de actividad que aparece durante la vigilia es la actividad beta (12-32 Hz) que tiene una amplitud habitualmente de 20 μV . Sustituye al ritmo alfa ya que beta incrementa cuando se realiza alguna actividad que demande carga cognitiva. Su distribución hacia otras zonas proviene principalmente de áreas fronto-centrales

(Carlson, 2014; Carskadon & Dement, 2011; Rechtschaffen & Kales, 1968; Valdez et al., 2015). Por ejemplo, se ha observado una relación entre el decremento de la actividad de ondas beta en zonas prefrontales y la baja en la ejecución en tareas como la TEC (Borrani et al., 2021), estas zonas están estrechamente relacionadas con el mantenimiento de la atención durante periodos prolongados. Lo cual concuerda con los resultados que obtuvieron Belyavin y Wright (1987) en donde encontraron que un decremento en la banda de beta (14-21 Hz) está fuertemente asociado a un decremento en la atención sostenida, mientras que también hubo un incremento en theta.

En otro estudio los participantes escucharon un ruido blanco constante de 63 dB durante media hora y tuvieron que responder cada vez que el volumen del ruido aumentó. Encontraron una correlación entre cambios en el espectro del EEG y el rendimiento en una tarea de detección auditiva sostenida, cuando ocurren más errores hay un incremento en theta y beta y un decremento en alfa (Makeig & Jung, 1995). Por otro lado, Molteni et al. (2007) aplicaron una CPT con duración aproximada de 10 minutos, en donde aparecían todas las letras del abecedario y debían presionar un botón cuando apareciera cualquier letra menos la "X" y no presionar el botón cuando apareciera la "X". Ellos encontraron una correlación entre el aumento de ritmo beta y el aumento de los errores de comisión. También observaron que incrementaron los errores del minuto 4 al 6 de la tarea, sin embargo, no analizaron ningún indicador de atención sostenida de los que se mencionan en esta tesis, lo cual ayudaría a observar mejor estos cambios en la ejecución a lo largo de la tarea.

Es importante comentar que en los estudios previamente mencionados los participantes se encontraban en condiciones favorables para realizar las tareas. Sin embargo, tanto la atención sostenida como la actividad eléctrica cerebral pueden presentar cambios si las personas presentan una reducción en su dormir normal. Por lo que si una persona se encuentra en privación de sueño es posible que existan cambios en su ejecución, en su actividad eléctrica cerebral y que reporte mayor somnolencia al realizar tareas de larga duración.

Sueño y privación de sueño

El sueño se puede definir en términos sencillos como un estado reversible de desconexión sensorial y falta de respuesta al entorno (Morillo, 2000). En el sueño el cerebro se mantiene activo, pero de diferente manera a cuando estamos despiertos (Valdez, et al., 2015). El sueño generalmente, pero no necesariamente, se acompaña de inclinación postural, inactividad conductual, ojos cerrados, también ocurren cambios en la temperatura corporal, la frecuencia cardíaca, el tono muscular y en la actividad cerebral (Carskadon & Dement, 2011).

El ser humano duerme durante una tercera parte de su vida y de la calidad con que lo hace depende su desempeño en la vida cotidiana durante la vigilia (Morillo, 2000; Cabrera, 2008). El sueño es básico para el ser humano pues no sólo facilita el desarrollo cerebral temprano, sino que permite el restablecimiento diario de la actividad metabólica cerebral (Ríos, López, & Escudero, 2019) así como la recuperación de las funciones biológicas y psicológicas, que preservan un buen funcionamiento general del organismo (Iñiguez, et al., 2000).

El sueño se clasifica en diferentes etapas y para identificarlas se necesita de diferentes instrumentos de medición que registren la actividad eléctrica ocular, motora, cardíaca y cerebral (Rechtschaffen & Kales, 1968), estas etapas son la etapa I, etapa II, etapa III, etapa IV y etapa MOR (Movimientos Oculares Rápidos).

A continuación, se describen brevemente las etapas de sueño en un adulto joven sano (Carlson, 2014; Carskadon & Dement, 2011; Rechtschaffen & Kales, 1968; Valdez et al., 2015):

- En la etapa I las ondas alfa se suprimen y predominan ondas theta (4-8 Hz), existe presencia de movimiento ocular lento, tono muscular alto, respiración y frecuencia cardíaca lentas y regulares. El sueño se interrumpe fácilmente durante esta etapa, por ejemplo, llamando a una persona por su nombre o tocándola suavemente. Generalmente persiste de 1 a 7 minutos al comienzo del sueño.
- En la etapa II predomina la actividad theta y aparecen complejos K y husos de sueño, poco movimiento ocular, tono muscular medio y frecuencia cardíaca lenta. Se requiere un estímulo más intenso para producir la excitación. El mismo estímulo que produjo el despertar de la etapa 1 del sueño a menudo da como resultado un complejo K evocado, pero la persona no despierta en esta etapa. La respiración y frecuencia cardíaca son más lentas y regulares que en la etapa I. Dura aproximadamente de 10 a 25 minutos durante el primer ciclo de sueño y abarca aproximadamente el 50% del total del dormir.
- En la etapa III todavía existe presencia de actividad theta, pero ya aparece actividad delta (<4 Hz), se considera que una persona se encuentra en esta etapa cuando en el registro de EEG se presenta de un 20% a un 50% de

ondas delta. El umbral de despertamiento es alto por lo que es difícil despertar a la persona en esta etapa. Se presentan movimientos oculares lentos, tono muscular bajo y frecuencia cardíaca y respiración lenta y regular. Generalmente dura sólo unos minutos durante el primer ciclo de sueño y es de transición a la etapa 4 a medida que ocurre más y más actividad de ondas lentas de alto voltaje (delta).

- En la etapa IV predomina la actividad delta en más del 50% del registro de EEG, poco movimiento ocular, tono muscular bajo y frecuencia cardíaca lenta. Por lo general, se requiere un estímulo cada vez mayor para producir un despertar de la etapa 3 o 4 del sueño que de la etapa 1 o 2 del sueño. Su duración es aproximadamente de 20 a 40 minutos durante el primer ciclo de sueño, la etapa 3 y 4 abarcan aproximadamente el 20% total del dormir.
- En la etapa de movimientos oculares rápidos (MOR o REM por sus siglas en inglés) ocurre una desincronización del EEG, predominan ondas de alta frecuencia y bajo voltaje parecidas a las de vigilia (beta). Se presentan movimientos oculares rápidos, atonía muscular, frecuencia cardíaca y respiración rápida e irregular. En esta etapa también se requiere de un estímulo intenso para producir un despertar. El sueño MOR en el primer ciclo de la noche suele ser de corta duración (1 a 5 minutos), conforme avanza la noche el sueño MOR tiene una duración más larga y constituye el 25% de una noche de sueño. El promedio de tiempo del ciclo NMOR (etapas 1-4) - MOR es de aproximadamente 90 a 110 minutos.

Las fases III y IV de sueño desempeñan una función de recuperación de la actividad producida durante la vigilia debido al cansancio físico e intelectual

(Carskadon, & Dement, 2011). En cuanto al sueño REM, los resultados obtenidos en algunas investigaciones sugieren que está relacionado con el funcionamiento de los procesos cognitivos como la consolidación de la memoria a largo plazo del material procesado durante la vigilia (Idzikowski, 1984). Se ha registrado un incremento en el tiempo dedicado a este tipo de sueño después de realizar una serie de tareas de aprendizaje durante el período de vigilia.

La condición de dormir menos horas de lo habitual o no dormir una noche completa es lo que se define como privación de sueño. Si se reducen las horas de sueño a lo largo de varios días seguidos se le denomina privación parcial de sueño o privación crónica, si no se duerme por una noche entera o más se le denomina privación total de sueño, esta es una buena estrategia para investigar los mecanismos homeostáticos del dormir y su importancia para la ejecución durante la vigilia.

Se ha registrado que después de la privación de sueño las personas duermen de 2 a 3 horas más de lo habitual y durante el dormir aumenta el tiempo de ondas lentas (etapa 3 y 4) (Carskadon & Dement, 2011). Además de esto, luego de la privación del dormir la latencia de sueño disminuye, esto quiere decir que las personas se quedan dormidas más rápido de lo que usualmente acostumbran. Se considera normal una latencia de alrededor de 10 minutos, las personas con privación de sueño se duermen en menor tiempo (5 minutos o menos) y esto se puede observar por medio de un protocolo de latencias múltiples de sueño (García de Gurtubay, 2007). El dormir es importante para poder realizar las actividades de manera eficiente durante la vigilia, esto incluye actividades que demanden poner

atención durante largos períodos. En el siguiente apartado se habla de los efectos de la privación de sueño en la atención sostenida y la somnolencia.

Efectos de la privación de sueño en la somnolencia y la atención sostenida

La vigilia y el sueño, aunque son estados diferentes no se pueden disociar, la calidad de la vigilia depende en gran medida de la calidad del sueño previo (Cabrera, 2008). La privación de sueño en los humanos produce un aumento en la somnolencia, el cansancio, provoca fatiga, y una disminución en la ejecución motora y cognoscitiva (Cabrera, 2008; Valdez, 2015), de hecho, la atención sostenida es un componente que se ve drásticamente afectado por períodos sin dormir (Lim, & Dinges, 2008). Al aumentar la somnolencia las personas no responden de manera apropiada a los estímulos que se les presentan y existe una mayor probabilidad de que ocurra una transición de vigilia a sueño.

La somnolencia se define como la propensión que se tiene para quedarse dormido, la cual está determinada por dos factores: el factor circadiano y el factor homeostático en el cual se enfoca este estudio. De acuerdo con el planteamiento de la teoría homeostática, el dormir es una necesidad del organismo que proporciona descanso de las actividades diarias como el ejercicio físico y la actividad cognoscitiva (Bórbely, 1982), mientras se pasa más tiempo despierto, mayor es la necesidad de dormir.

La somnolencia se puede medir a través de escalas en donde las personas reportan bajo su propio criterio la percepción subjetiva de la necesidad de dormir o la facilidad de transición entre la vigilia y el sueño asociado a un número de sensaciones y síntomas que presentan en ese momento. Estos reportes subjetivos

cuentan como indicadores del comportamiento (Ogilive & Hatsh, 1994). Otra forma de evaluar la somnolencia de manera objetiva es a través la Prueba de Latencias Múltiple del Sueño (PLMS) que es un procedimiento neurofisiológico implementado en un laboratorio de sueño que cuantifica según el trazado del EEG, electrooculograma de ambos ojos y electromiografía del mentón, la somnolencia a través del tiempo en quedarse dormido (latencia del sueño) y el tiempo en presentar sueño MOR en cinco siestas de 20 minutos propuestas durante el día. Otra tarea con la que han evaluado la somnolencia de manera objetiva es con el Test de Mantenimiento de Vigilia (TMV) consiste en que después de una noche normal de sueño se realizan varias sesiones (de 4 a 5) cada 2 horas y en cada sesión las personas tienen que permanecer despiertas durante 40 minutos en una habitación con condiciones apropiadas para dormir (Krahn, et al., 2021).

Por otro lado, para evaluar los efectos de la privación del dormir sobre la atención sostenida se ha utilizado diferentes tipos de tareas. La atención sostenida se ha evaluado a través de la tarea de vigilancia psicomotora (TVP) que consiste en que el sujeto debe presionar un botón tan pronto como aparece una luz en la pantalla. Se basa en un tiempo de reacción simple y mide la atención sostenida o vigilante mediante el registro de tiempos de reacción a estímulos visuales (o auditivos) que ocurren en intervalos aleatorios entre estímulos y tiene una duración de 5 a 10 minutos. En esta tarea se utiliza como indicadores de atención sostenida los lapsos de ejecución, que son los tiempos de reacción doblemente mayores a los esperados (>500 ms). Este indicador no mide los cambios a través de la tarea como los indicadores de atención sostenida que se evaluaron en este trabajo.

Es importante mencionar que estos lapsos pueden aumentar su frecuencia y su duración conforme las personas pasen más tiempo sin dormir (Williams, Lubin & Goodnow, 1959). Por ejemplo, si se reducen las horas de sueño de manera crónica a 6 horas durante 14 días las personas tienen un bajo rendimiento en una TVP, a partir del séptimo día, la cantidad de lapsos de ejecución aumentaron y estos resultados fueron equivalentes a los de un día de privación total de sueño (Van Dongen et al., 2003).

En otro estudio de privación parcial de sueño aplicaron otra tarea de atención sostenida en donde a los participantes se les presentaron sonidos de diferente duración y cuando aparecía uno de menor duración debían de responder y encontraron que la cantidad de señales detectadas a lo largo de la tarea (estabilidad en el tiempo) se redujo considerablemente después de reducir a 4 horas su dormir un día antes del estudio (Wilkinson, Edwards & Haines, 1966).

En un estudio de Valdez et al. (2010) aplicaron una TEC a participantes que permanecieron despiertos durante 28 horas en un laboratorio en condiciones controladas y se encontró que todos los indicadores de atención sostenida (estabilidad general de la eficiencia, estabilidad en el tiempo en la tarea y la estabilidad a corto plazo) se ven afectados por la privación de sueño. En la estabilidad general de la eficiencia observaron un incremento tanto en la variabilidad de las respuestas correctas como en los tiempos de reacción. En la estabilidad en el tiempo se observó un decremento en las respuestas correctas hacia el final de la tarea, mientras que en los tiempos de reacción no hubo cambios. En la estabilidad a corto plazo las secuencias de correctas disminuyeron y las secuencias de errores aumentaron luego de permanecer despiertos por una noche.

Además de esto, se ha encontrado que una privación total de sueño mayor a 34 horas provoca que el tiempo de ejecución en la empeore ya que causa que los tiempos de reacción sean más lentos hacia el final de la tarea (estabilidad en el tiempo) y esto ocurre tanto en tareas visuales como auditivas. También se observó que en la estabilidad a corto plazo se incrementan los errores de omisión y comisión (secuencias de errores) con la privación total del dormir (Lim & Dinges, 2008).

En otro estudio encontraron que los participantes obtuvieron un bajo rendimiento en la precisión de dos indicadores de atención sostenida de la TEC (estabilidad general de la eficiencia, estabilidad a corto plazo) después de una privación del dormir de 24 horas, sin embargo, hubo una reducción en sus tiempos de reacción lo que implica que las personas respondieron más rápido a los estímulos, este resultado sugiere que la privación de sueño podría no afectar la velocidad de respuesta (García, et al., 2021).

Los anteriores estudios proveen información importante de cómo la privación de sueño afecta a la atención sostenida, sin embargo, ninguno de estos analizó que sucede con la actividad eléctrica cerebral. Por lo que en el siguiente apartado se hablará de cómo afecta la privación de sueño a la actividad eléctrica del cerebro.

Efectos de la privación de sueño en la actividad eléctrica cerebral

En los párrafos anteriores se habló de cómo la privación de sueño afecta la ejecución de las personas en tareas de atención sostenida y en los párrafos siguientes se hablará de cómo afecta la privación de sueño a la actividad eléctrica cerebral.

En un estudio que realizaron en ratas, compararon su actividad eléctrica cerebral durante 6 horas en dos condiciones, durante la vigilia en estado basal y la vigilia post privación de sueño (protocolo de privación total). Encontraron que durante la vigilia post privación de sueño, aumentó la potencia de delta significativamente en comparación a la vigilia basal y también hubo una disminución en la potencia de las ondas de alta frecuencia (gamma), estos resultados lo relacionaron con una mayor presión por dormir debido al aumento de delta durante la vigilia post privación de sueño (Osorio, 2021).

En humanos, como se mencionó anteriormente, existen estudios en donde se demuestra que la privación de sueño causa que las personas reporten un aumento en su somnolencia subjetiva (García, et al., 2021) y algunos estudios han analizado la actividad eléctrica cerebral durante el aumento en la somnolencia como los que se mencionan a continuación.

En un estudio en donde los participantes tuvieron que mantenerse despiertos durante 40 horas encontraron que el aumento en la somnolencia subjetiva se puede asociar a un incremento en la banda de theta en zonas frontales y un incremento general en alfa en condiciones de reposo (Strijkstra, 2003). Esto coincide con otro estudio que menciona que el aumento en la somnolencia se ha asociado a un aumento de theta, específicamente entre los 6.25-8 Hz y un incremento en alfa, específicamente entre los 8-9 Hz en el poder espectral después de 34 horas de privación, así como un incremento en la fatiga en las personas (Cajochen, et al., 1995). También en un estudio del proceso del inicio del dormir se encontró que un aumento en la potencia del EEG en el rango de frecuencia delta y theta (1-7 Hz) o la oscilación descendente y ascendente de la actividad alfa (8-12 Hz) parece ser una

estimación válida para indicar que existe somnolencia alta, al igual que la Prueba de Latencias Múltiple del Sueño (PLMS) (De Gennaro, Ferrara & Bertini, 2001). Por último, Corsi. et al., (1992) compararon la actividad eléctrica cerebral de sus participantes entre dos condiciones, durante la mañana después de un dormir normal y durante la mañana después de una noche de privación de sueño. Ellos encontraron que durante la mañana después de la noche de privación de sueño hubo un aumento en la potencia de theta en comparación a su registro durante la mañana después de dormir.

Otro fenómeno que ocurre durante la privación de sueño son los micro sueños. Estos consisten en episodios de 3 a 14 segundos en el EEG en donde alfa disminuye y es remplazada por theta y durante estos momentos las personas tienen mirada perdida, caída de párpado y dificultades para detectar y responder a estímulos que suceden en el ambiente (Harrison & Horne, 1996). Los micro sueños comúnmente aparecen en personas con somnolencia diurna excesiva (Boyle, et al., 2008), esta intrusión del sueño durante vigilia, asociadas con una disminución en la tasa de activación neuronal, también se ha observado en condiciones de privación de sueño y se ha correlacionado con deterioro del rendimiento o lapsos de ejecución.

Se ha planteado la posibilidad de detectar la somnolencia con la presencia de micro sueños en lugar de utilizar la PLMS o la TMV. Por ejemplo, en un estudio durante un Test de Mantenimiento de Vigilia en pacientes con apnea de sueño severa sin tratamiento, encontraron que la latencia de micro sueños ocurría antes que la latencia del dormir, por lo que la aparición de micro sueños precedía al inicio de sueño y mientras más sueño tenían los participantes, estos micro sueños aparecían con más frecuencia, por lo que con esto llegaron a la conclusión de que

los micro sueños pueden ser mejores indicadores de somnolencia que la misma latencia del inicio del sueño. Se sugiere que conciliar el sueño es un proceso gradual y estos micro sueños pueden ser parte del proceso en donde se refleja la intrusión de breves períodos de sueño durante la vigilia antes de la instalación del sueño estable (Des Champs de Boishebert, et al., 2021).

Con esta información se puede observar que la privación de sueño afecta la actividad eléctrica cerebral provocando la aparición de ondas de baja frecuencia (theta) relacionadas al inicio del dormir lo que coincide con que las personas reporten somnolencia, lo cual puede estar relacionado al bajo rendimiento de la atención sostenida que presentan los otros estudios en esta misma condición de pérdida de sueño. El mantenerse despierto durante una gran cantidad de horas tiene un impacto significativo en la actividad cortical durante la vigilia, y esto impacta en la capacidad de responder (Cabrera, 2008) Sin embargo, son pocos los estudios que realizan esto, la mayoría de los estudios trabajan con privación de sueño y atención sostenida y otros con privación de sueño y actividad eléctrica cerebral como los que se mencionaron anteriormente, pero no analizan la actividad eléctrica cerebral mientras contestan la tarea de atención sostenida estando en privación de sueño. A continuación, se describen algunos estudios que investigaron sobre los efectos de la privación de sueño tanto en la atención sostenida como en la actividad eléctrica cerebral.

Privación de sueño, atención sostenida y actividad eléctrica cerebral

En los apartados anteriores, se habló de cómo la privación de sueño afecta la ejecución y causa cambios en la actividad eléctrica cerebral. Sin embargo, como se

mencionó anteriormente, son pocos los estudios que analizan la actividad eléctrica cerebral mientras se realiza una tarea de atención sostenida en privación de sueño. Algunos estudios han analizado la actividad eléctrica cerebral con tareas evalúan otros procesos cognoscitivos como el realizado por Makeig et al. (2000). En ese estudio analizaron la actividad eléctrica cerebral de 4 participantes en privación de sueño de 42 horas mientras se contestó una tarea de seguimiento viso-motor compensatorio. Esta tarea consiste en que un usuario frente a una pantalla que tiene un indicador y un punto cero, usando un mouse de computadora debían tratar de mantener el indicador dentro del punto cero mientras fuerzas actúan sobre el indicador. Ellos encontraron que un bajo rendimiento en la tarea se relacionó con un incremento de ondas theta (3-4 Hz) después de la privación de sueño.

En otro estudio privaron de sueño a un grupo de personas durante 40 horas y registraron su actividad eléctrica cerebral mientras contestaron una tarea visual psicomotora (TVP). Encontraron que después de la privación de sueño hubo un incremento en la potencia de theta, alfa y beta 1 (13-22 Hz), encontraron que el aumento de theta en zonas centrales (C3) se correlacionó con tiempos de reacción más largos y mayor cantidad de errores de omisión (Corsi, et al., 1996).

Otro estudio que analizó la actividad eléctrica cerebral mientras se contestó una tarea de atención sostenida fue el de Cabrera (2008). En este estudio se comparó la actividad eléctrica cerebral con la ejecución de una tarea de atención sostenida visual luego de una privación de sueño de 38 horas. La tarea tiene una duración de 15 minutos y consiste en que en una pantalla aparecen números del 1 al 7 y los participantes tienen que responder presionando un botón cada vez que

aparezca el 1 o el 5 lo más rápido posible. Encontraron que un aumento en theta, alfa y beta se relacionaron con un aumento en los tiempos de reacción.

En base a los estudios previamente mencionados, todos encontraron que un aumento en theta se correlaciono con un decremento en su ejecución, ya que los participantes tuvieron tiempos de reacción más largos y más errores. Sin embargo, en ninguno de los estudios anteriores utilizaron los indicadores de atención sostenida que se mencionan en esta tesis (estabilidad general de la eficiencia, estabilidad en el tiempo en la tarea, estabilidad a corto plazo) que analizan los cambios en la ejecución durante el transcurso de la tarea, solo toma en cuenta los tiempos de reacción y los errores.

Por lo que tomando en cuenta los antecedentes mencionados, se puede hacer el siguiente cuestionamiento, si una persona se encuentra en privación de sueño y tiene que responder una tarea de larga duración, ¿Qué ocurre con su atención sostenida y su actividad eléctrica cerebral y cómo se relacionan éstos entre sí?

III. MÉTODO

Debido a que el objetivo de esta investigación es conocer los cambios en la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral en privación de sueño, se llevó a cabo la aplicación de una tarea de ejecución continua (TEC) visual para registrar la atención sostenida y el registro de un análisis electroencefalográfico para medir la actividad cerebral en un protocolo de privación total de sueño.

Diseño

Este trabajo se puede describir como un estudio de investigación con un grupo con pre y post test de la condición de privación de sueño, se controlaron variables extrañas que puedan influir en los resultados como participantes con trastornos de sueño o que consumieran alguna sustancia o medicamento, se llevó a cabo con una muestra de participantes voluntarios y se utilizó estadística paramétrica.

Participantes

Se registró un grupo de 12 personas, 5 mujeres y 7 hombres con un promedio de edad de 17.92 ± 1.18 años (promedio \pm desviación estándar), estudiantes universitarios, sin actividades después de clases ni el fin de semana, sin trastornos de salud ni trastornos de sueño, sin ingestión de medicamentos que afecten el sistema nervioso central.

La técnica de muestreo fue no probabilística, ya que la muestra no fue seleccionada al azar, los criterios de inclusión fueron que los participantes no

presentaran trastornos de sueño y no presentaran somnolencia diurna excesiva antes del registro. Además de esto, se revisó que los participantes no tomen, no fumen previo al registro ya que esto puede influir en los resultados del estudio, por lo que se descartaron a los participantes que consumieran frecuentemente algún tipo de sustancia que afectara el sistema nervioso central.

El estudio se realizó de acuerdo con los principios de la declaración de Helsinki (2004), para la investigación con humanos.

Instrumentos

Los cuestionarios que se aplicaron fueron los siguientes:

- Carta de consentimiento informado. En esta carta los participantes afirman estar de acuerdo con todo el procedimiento de la investigación que se llevó a cabo (Anexo 1).
- Cuestionario de datos generales del estudiante. Se utilizó para recabar la información general de los participantes como nombre, edad, escolaridad, horario, enfermedades, uso de algún medicamento/droga, información de contacto, entre otros (Anexo 2).
- Cuestionario de trastornos del dormir. Consiste en 14 preguntas que recaban información de problemas del dormir como insomnio, despertamientos, pesadillas, sonambulismo, somniloquia, parálisis de sueño, ronquido y bruxismo. Los participantes tienen que contestar si “Sí” o “No” lo padecen y en caso de contestar que “Sí”, tienen que responder qué tan molesto es en una escala de “Nada”, “Poco”, “Regular”, “Mucho” o “Demasiado”. Se consideró

como trastorno si el participante respondía “Sí” a alguna de las opciones y reportaron que les molesta mucho o demasiado (Anexo 3).

- Diario del dormir. Contiene preguntas acerca del ciclo vigilia-sueño, como la hora de dormir, hora de despertar, si hubo dificultad para dormir, si hubo despertamientos y si utilizó algún dispositivo electrónico (celular, laptop o tablet) durante los días previos al registro (Anexo 4).
- Escala de somnolencia diurna de Epworth (Johns, 1991). Consiste en preguntas acerca de qué tan somnolientos se sentirían en diferentes contextos. Se contesta en una escala de “No dormiría” (0 puntos), “Poca probabilidad de dormir” (1 punto), “Moderada probabilidad de dormir” (2 puntos) y “Alta probabilidad de dormir” (3 puntos), esto para observar si había participantes con somnolencia excesiva (arriba de 12 puntos) (Anexo 5).
- Escala visual analógica de somnolencia (Cluydts, De Valck, Verstraeten, & Theys, 2002). Consiste en una línea horizontal de 10 cm en donde los participantes trazan sobre esta línea con una línea vertical la sensación de somnolencia que presenten en ese momento, considerando el extremo izquierdo como nada de somnolencia y el extremo derecho como mucha somnolencia (Anexo 6).
- Tarea de ejecución continua visual (TEC): La tarea contiene 27 bloques de 20 estímulos cada uno (14 estímulos de un número diferente de 9, 4 estímulos del número 9 y 2 estímulos del número 4 después del número 9 en cada bloque). La duración de cada estímulo es de 100 ms, y el intervalo entre estímulos varía aleatoriamente (1000, 1100, 1200, 1300 y 1400 ms). Los estímulos dentro y entre los bloques se aleatorizan. Se les pidió a los

participantes que utilicen los dedos índice, medio y anular de su mano dominante para presionar los números 1, 2 y 3, respectivamente, en el teclado numérico de la computadora de acuerdo con las siguientes indicaciones: deben presionar 1 para cualquier número excepto 9 que aparezca en el centro de la pantalla de una computadora; deben presionar 2 cuando aparezca un 9; y deben presionar 3 cuando aparezca un 4 después del 9 (Figura 2). La fuente y el tamaño de los números son Arial 60; los números se presentaron en un monitor de 17 pulgadas colocado a 60 cm frente al participante. Son en total 540 estímulos; la duración total de la tarea es de 11 min y 42 segundos. Se obtuvieron tres índices de atención sostenida: estabilidad general de la eficiencia (desviación estándar entre bloques de respuestas correctas y tiempo de reacción), estabilidad en el tiempo en la tarea (regresión lineal a lo largo de los bloques de respuestas correctas y tiempo de reacción) y estabilidad a corto plazo (secuencias de aciertos y secuencias de errores) (Figura 3) (Valdez et al., 2010).

- Registro electroencefalográfico (EEG): Se utilizó para registrar las señales eléctricas provenientes de las neuronas. Se utilizaron electrodos bañados en oro y una crema conductora para registrar mejor la señal. El registro electroencefalográfico se hizo con un sistema amplificador Grass Comet AS40 EEG/PSG, se utilizaron diecinueve electrodos en el cuero cabelludo colocados de acuerdo con la norma internacional Sistema 10/20, aunque para este estudio solo se analizó la señal proveniente del canal C3 para observar la activación general del cerebro. Se conectaron los electrodos del lóbulo de la oreja (A1 y A2) a REF para actuar como un electrodo de referencia y un

electrodo en la frente se usó como tierra del cuerpo (GND). Las impedancias de los electrodos no superaron los 10 ohmios. Se realizó bio calibración como control para el ruido en las señales de los canales EOG, EMG EKG y C3 del EEG. Estos datos fueron almacenados en una computadora para análisis fuera de línea (Figura 4).

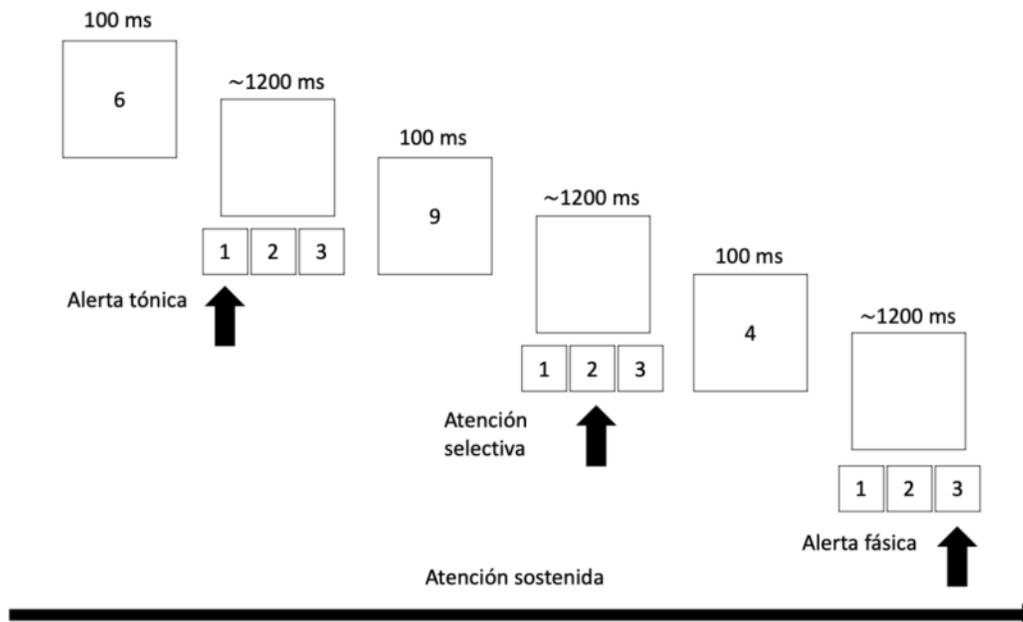


Figura 2. Tarea de ejecución continua visual.

Nota: Los cuadros grandes representan la pantalla de la computadora y los pequeños las teclas. Se presiona 1 para cualquier número excepto el 9 que aparezca en el centro de la pantalla de una computadora; se presiona 2 cuando aparezca un 9; y se presiona 3 cuando aparezca un 4 después del 9. La flecha horizontal representa los cambios en el transcurso de la tarea, ya sea en la estabilidad general de la eficiencia, estabilidad en el tiempo en la tarea y estabilidad a corto plazo que se tomaron como indicadores de atención sostenida.

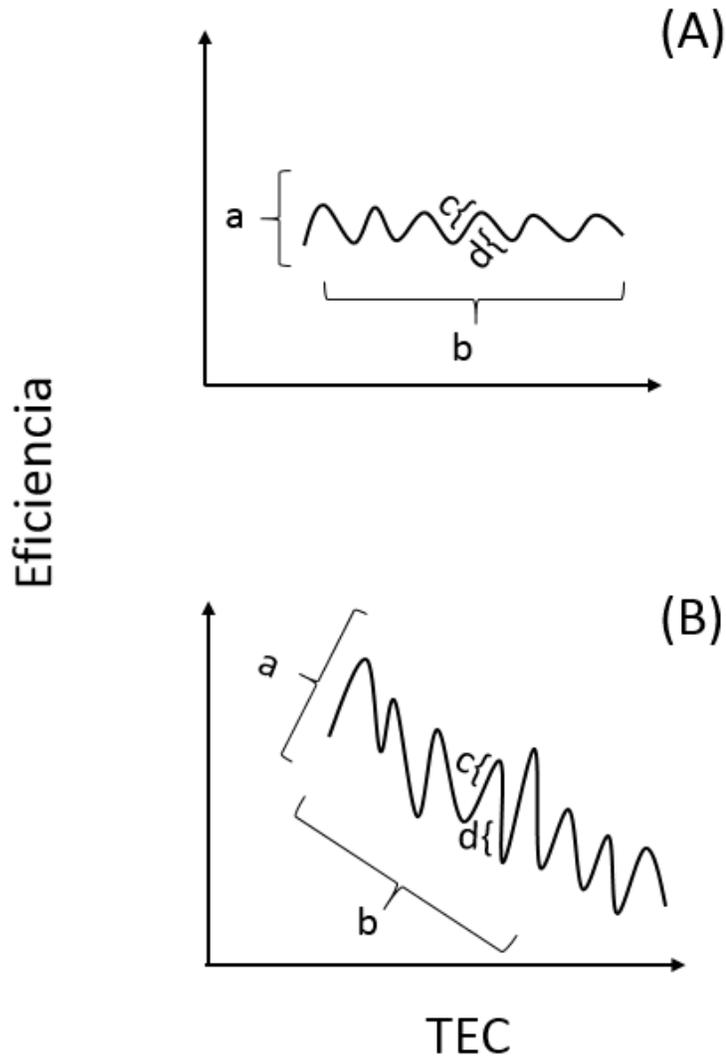


Figura 3. Indicadores de la atención sostenida de la TEC (Tarea de ejecución continua)

Nota: Ejemplo de una ejecución óptima (A) y una ejecución deficiente (B) en la TEC. En ambas gráficas la letra "a" representa la estabilidad general de la eficiencia, la letra "b" la estabilidad en el tiempo en la tarea, la letra "c" (secuencias de correctas) y "d" (secuencias de errores) la estabilidad a corto plazo.

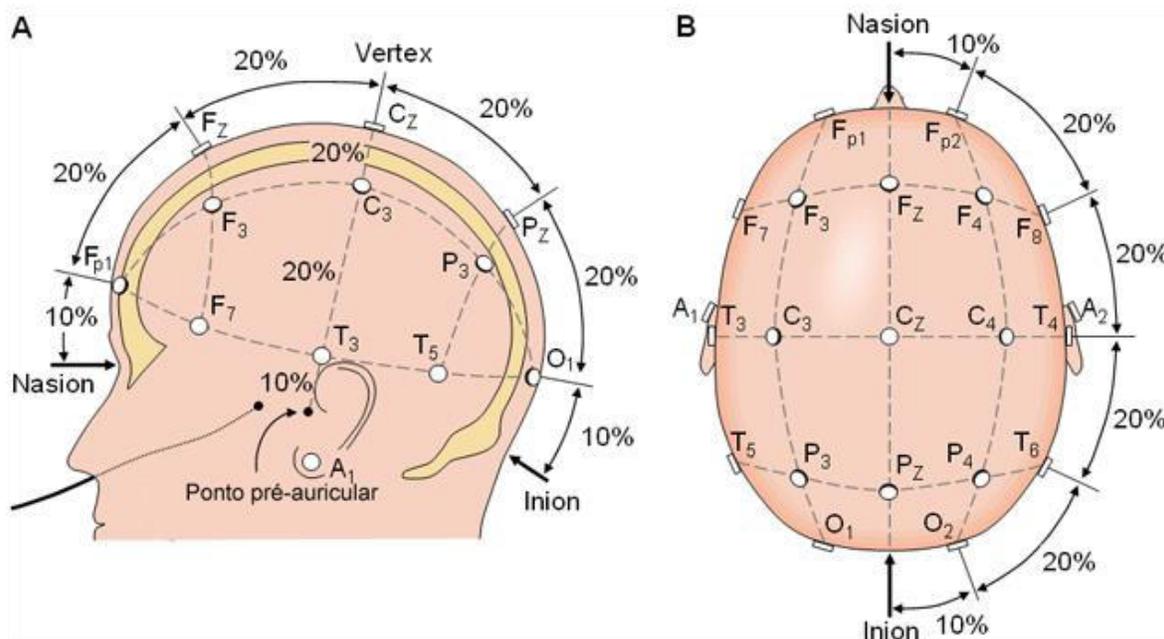


Figura 4. Sistema 10-20 para la colocación de electrodos

Nota: Se analizó la señal proveniente del electrodo C3 para observar la actividad general del cerebro.

Procedimiento

Se acudió a salones de licenciatura para informarles y explicarles a los alumnos en qué consistía el proyecto y posteriormente se les invitó a participar en la investigación de manera voluntaria. Luego de explicarles detalladamente el protocolo, a los estudiantes que quisieron participar se les entregó una carta de consentimiento informado en donde aceptaron participar de manera voluntaria en esta investigación; en caso de ser menores de edad también se les pidió la autorización de sus padres o tutores. Posterior a que firmaron la carta se les entregó el cuestionario de datos generales, cuestionario de trastornos de dormir y la escala de somnolencia diurna de Epworth.

Es importante que los participantes durmieran las 8 horas recomendadas durante la semana antes del registro, por lo que se les entregaron diarios de dormir para que registren sus horarios de dormir y despertar, así como a las 00:00 h y 8:00 h se les hicieron llamadas para corroborar que el participante no se desvelara o no durmiera demasiado. En estos mismos diarios los participantes reportaron su consumo de sustancias en caso de consumir alguna.

Se realizó 5 días antes del registro un entrenamiento de la tarea (TEC). En el horario que más se les acomodara entre las 10:00 h y las 17:00 h se les pidió a los participantes que ingresaran al cubículo y contestaran la TEC dos veces. Se les aplicó la TEC para que se familiarizaran con la tarea y evitar que cometieran errores al contestar el día del registro por dudas en las instrucciones o de algún otro tipo.

Luego del entrenamiento, se citó a los participantes en el Laboratorio de Psicofisiología a las 10:00 h para la colocación de electrodos, estos se pusieron de acuerdo con el sistema 10-20, el cual es utilizado y aceptado internacionalmente. A las 12:00 h se acomodaron en el cubículo para iniciar con el protocolo en donde el primer registro se realizó a las 12:00 h que corresponde a la condición de línea base (LB) y a las 14:00 h o 15:00 h (dependiendo de cual registro de EEG tuviera menos artefactos) del día siguiente que corresponde a la condición de privación de sueño (PS). La TEC se aplicó cada dos horas a partir del registro de las 12:00 h del primer día, aunque para este estudio solo se tomaron en cuenta los registros que se aplicaron en las horas antes mencionadas para poder analizar los efectos de la privación de sueño. En las dos condiciones (línea base y privación) antes de contestar la tarea se registró la sensación subjetiva de somnolencia de los participantes. (Figura 4).

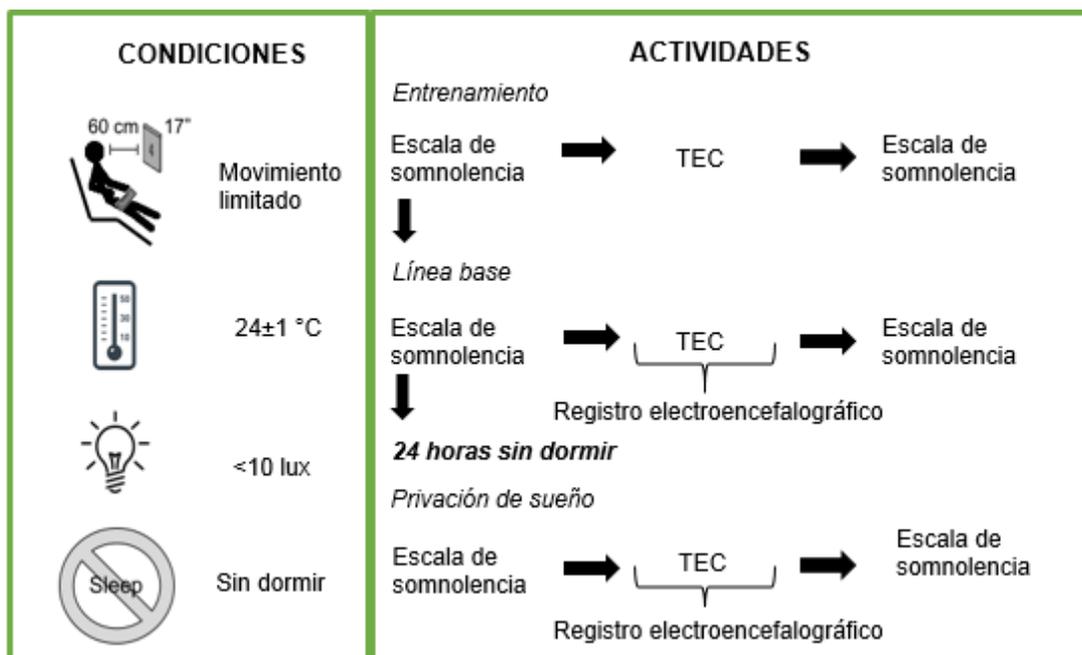


Figura 5. Protocolo del registro

Nota: Protocolo de registro del entrenamiento, la condición de línea base y privación de sueño.

Para el área de registro se utilizaron dos cubículos que están acondicionados como cámaras de aislamiento térmico, acústico y de iluminación solar. El área de estos cubículos es de 3 x 3.3 m, con un baño de 3 x 1.3 m. En el centro del cubículo se colocó un sofá reclinable en donde los participantes permanecieron recostados. Al lado contrario de la entrada se encontraba un escritorio que tenía colocado un brazo mecánico que sujetaba un monitor que se mantuvo a una distancia aproximada de 60 cm del participante. El cubículo permaneció con una temperatura ambiental constante de 24±1°C. La iluminación del cubículo permaneció constante a <10 lux para reducir los efectos de la luz sobre la propensión a dormir y sobre la atención. El

registrador en turno se ubicó en el escritorio quedando fuera del campo visual del participante.

El equipo que se utilizó para la presentación de la TEC fue una computadora de escritorio con SUPERLAB 2.0. Se presentó la tarea por medio de monitores de 17" con una resolución de 1024 X 768 pixeles. Las respuestas fueron registradas usando los números del panel numérico de un teclado mecánico. Los participantes no recibieron retroalimentación de sus respuestas durante el experimento.

Análisis de datos

Para analizar los indicadores de atención sostenida, se obtuvo el porcentaje de respuestas correctas y el promedio los tiempos de reacción por cada bloque de 20 estímulos y se calculó la desviación estándar entre los 27 bloques para el indicador de estabilidad general de la eficiencia.

Con el porcentaje de respuestas correctas y el promedio de los tiempos de reacción por cada bloque de 20 estímulos también se realizó una regresión lineal entre los 27 bloques para el indicador de estabilidad en el tiempo en la tarea.

Para la estabilidad a corto plazo, se identificaron la cantidad de aciertos que tuvieron de manera seguida (en cada secuencia) para sumarlas y después dividir las entre la cantidad de secuencias que tuvieron para de esta forma obtener un promedio de los aciertos seguidos que tuvieron. Este mismo promedio se hizo para las secuencias de errores.

Se inspeccionaron visualmente las épocas del EEG durante el tiempo que el participante respondió la TEC, se tomaron los 12 minutos de duración de la tarea en

caso de que el participante la completara y en caso de no completar la tarea se tomó en cuenta hasta un minuto antes de que el participante dejara de responder para evitar analizar el proceso del inicio del dormir. Por medio de un análisis visual se descartaron todos los momentos que tuvieran artefactos (parpadeos, movimientos, ruido proveniente de algún otro canal). Antes de iniciar el registro se realizó una calibración biológica para registrar parpadeos, movimientos oculares y rechinar de dientes; si alguna señal durante el registro coincidía con alguno de estos eventos se marcó como artefacto. En caso de observar alguna señal diferente a las antes mencionadas que también pudiera ser ruido, se corroboró con el vídeo si el participante hizo algún movimiento para marcarlo como artefacto.

Se realizó un análisis espectral de la actividad cerebral para cada 2 segundos del registro obtenido mientras los participantes respondieron la TEC en la señal del electrodo C3. Se analizó la potencia total logarítmica para obtener la potencia en decibeles de las diferentes bandas de frecuencia (delta de 1-4 Hz, theta de 4-8 Hz, alfa de 8-12 Hz, beta lento de 12-22 Hz y beta rápido de 22-32 Hz) tanto en línea base como en privación total de sueño. Luego de esto, se promediaron las mediciones de cada 2 segundos durante toda la tarea para comparar línea base y privación de sueño, así como para correlacionarlas con los indicadores de atención sostenida.

Se utilizó una T de Student para comparar las condiciones de línea base y privación de sueño tanto en los indicadores de atención sostenida como en la actividad eléctrica cerebral y el reporte subjetivo de somnolencia. Además de esto, se hizo una correlación de Pearson de los indicadores de atención sostenida con la actividad eléctrica cerebral en las dos condiciones (línea base y privación de sueño).

Debido a la cantidad de correlaciones que se tuvieron que realizar se tomó la decisión de tomar como significativos los resultados en donde la probabilidad fuera menor a 0.01 ($\alpha < 0.01$).

IV. RESULTADOS

Cuestionarios previos al registro

Los resultados de los cuestionarios de sueño-vigilia aplicados previo al registro, arrojaron que los participantes no tenían trastornos de dormir, cinco participantes (participantes 1, 4, 8, 10 y 12) reportaron tener somnolencia diurna leve de acuerdo con la escala de Epworth (10.56 ± 3.68 puntos) (promedio \pm desviación estándar) y tres participantes no contestaron la escala (participantes 2, 3 y 6) (Tabla 1). De acuerdo con los diarios de dormir aplicados durante la semana previa al estudio se observó que las dos noches antes del registro los participantes durmieron en promedio 8.07 ± 0.28 h (Tabla 1), solo un participante durmió en promedio menos de 7 horas (participante 2).

Tabla 1.
 Datos de sueño-vigilia previo al registro

Participantes	Sexo	Edad	Escala de somnolencia diurna de Epworth	Promedio del tiempo total de sueño de las dos noches antes del registro (Diarios del dormir)
1	H	20	17	8:13 h
2	H	19	-	5:30 h
3	H	18	-	7:21 h
4	H	17	12	7:48 h
5	M	18	8	8:00 h
6	M	17	-	7:33 h
7	M	17	8	9:53 h
8	M	20	13	7:40 h
9	H	17	10	9:15 h
10	H	17	11	7:47 h
11	M	17	12	9:00 h
12	H	17	4	8:40 h
Promedio (DE)		17.92±1.18	10.56±3.68	8.07±0.28 h

Nota: H = Hombre, M = Mujer, - =No se tiene la información

Efectos de la privación del dormir en la somnolencia

Se realizó una comparación entre la somnolencia subjetiva antes (1.28 ± 1.77 cm) y después de la privación de sueño (6.57 ± 2.44 cm).

Se observó un efecto de la privación del dormir en la somnolencia subjetiva de los participantes. Hubo un incremento en la somnolencia en la condición de la privación de sueño ($t = -4.31$, $p < 0.001$) (Figura 6, Tabla 6), esto significa que después de la privación de sueño aumento la somnolencia subjetiva reportada por los participantes.

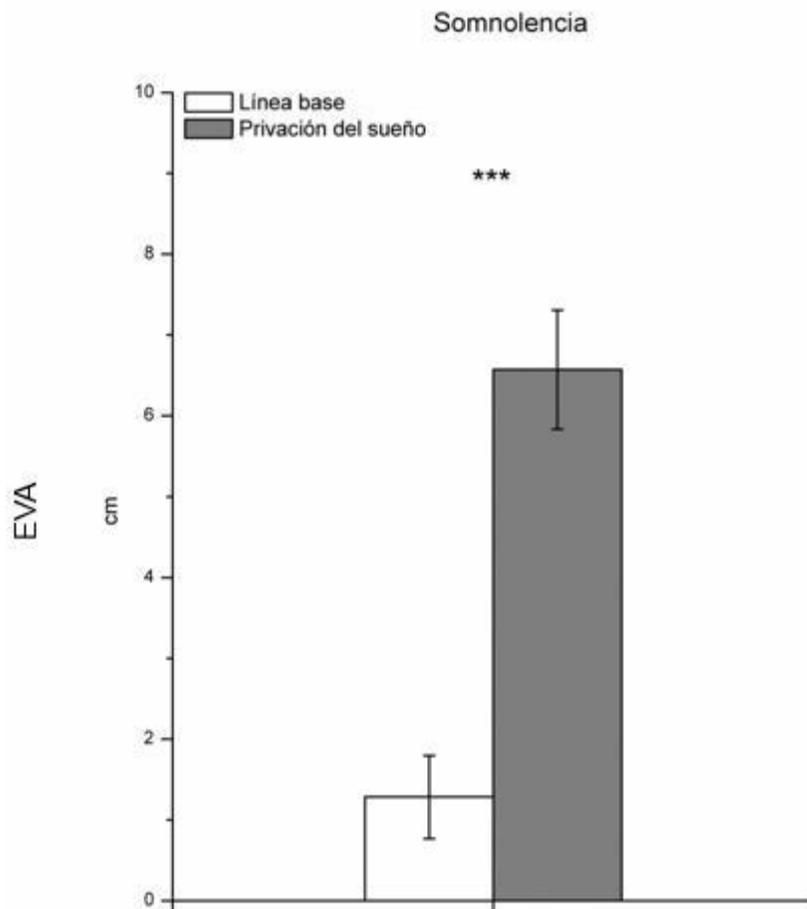


Figura 6. Somnolencia subjetiva antes y después de la privación de sueño

Nota. Somnolencia subjetiva antes (barras blancas) y después de la privación de sueño (barras grises). Las barras indican el promedio, las líneas verticales en medio de cada barra corresponden al error estándar. EVA= Escala Visual Analógica. *** $p < 0.001$.

Efectos de la privación del dormir en la atención sostenida

Estabilidad general de la eficiencia

Antes de presentar los resultados es importante mencionar que, luego de la privación del dormir, siete participantes no terminaron de contestar la tarea (Figura 8). Sin embargo, se tomó su ejecución hasta un minuto antes de dejar de responder.

En la ejecución en el registro de línea base los participantes tuvieron poca variabilidad (desviación estándar) a lo largo de la tarea en las respuestas correctas (Rango: 0.83-2.27 %) a excepción de un participante (participante 09) y en el tiempo que tardaron en responder (Rango: 17.43-54.94 ms). En la condición de privación de sueño su ejecución fue más variable entre respuestas correctas y errores (Rango: 2.32-5.53 %) (Tabla 2, Figuras 7 y 8) y también en los tiempos de reacción (Rango: 37.16-165.92 ms) (Tabla 2, Figuras 9 y 10).

Tabla 2.

Desviación estándar de respuestas correctas y tiempos de reacción por participante

Participantes	LB DE respuestas correctas	PS DE respuestas correctas	LB DE tiempos de reacción	PS DE tiempos de reacción
01	1.27	2.32	26.33	37.16
02	2.27	4.57	48.83	74.05
03	1.08	3.01	32.26	47.62
04	0.87	3.26	48.43	38.63
05	1.76	5.52	46.08	115.79
06	0.83	5.12	26.28	89.94
07	0.78	4.80	41.64	120.47
08	1.10	5.50	17.43	53.95
09	5.45	3.26	36.04	90.63
10	1.06	5.53	36.64	165.92
11	2.21	4.43	35.49	38.30
12	2.17	4.55	54.94	49.93
Promedio (DE)	1.74±1.29	4.55±1.41	37.53±10.99	76.87±40.83

Nota. DE= Desviación estándar, LB= Línea base, PS= Privación de sueño

Se realizó una comparación grupal estadística entre la estabilidad general de la eficiencia antes y después de la privación de sueño y se encontró un aumento en la variabilidad de las respuestas correctas (LB: 1.74±1.29, PS: 4.55±1.41 respuestas, $t=-7.24$, $p<0.001$) y en la variabilidad de los tiempos de reacción (LB: 37.53±10.99, PS: 76.87±40.83 ms, $t=-3.30$, $p<0.01$) después de la privación de sueño. (Figura 11, Tabla 5). Esto implica que después de la privación de sueño variaron más las respuestas de los participantes entre aciertos y errores y también el tiempo que tardaban en contestar, a veces más rápido y a veces más lento.

Estabilidad en el tiempo en la tarea

En la ejecución en el registro de línea base los participantes no tuvieron disminuciones significativas a lo largo de la tarea ($\beta > -0.68$) por lo que se mantienen constantes las respuestas correctas, a excepción de un participante (participante 9) que su ejecución disminuyó hacia el final de la tarea ($\beta = -0.78$); los tiempos de reacción se mantuvieron estables en todos los participantes. En la condición de privación de sueño en las respuestas correctas en 4 participantes su ejecución disminuyó hacia el final de la tarea (participantes 5, 6, 9 y 12) (Tabla 3, Figuras 7 y 8) y en los tiempos de reacción su ejecución se mantuvo estable a lo largo de la tarea. (Tabla 3, Figuras 9 y 10).

Tabla 3.

Tendencia lineal de respuestas correctas y tiempos de reacción por participante

Participantes	LB β respuestas correctas	PS β respuestas correctas	LB β tiempos de reacción	PS β tiempos de reacción
01	0.08	-0.24	-0.17	0.36
02	-0.53	-0.17	-0.00	0.31
03	-0.30	-0.30	-0.48	0.34
04	-0.32	-0.52	-0.45	-0.15
05	-0.33	-0.72**	0.58	0.35
06	-0.09	-0.75**	0.48	-0.29
07	-0.21	-0.29	0.16	0.35
08	0.27	-0.57	0.22	0.46
09	-0.78**	-0.89**	-0.19	0.43
10	-0.23	-0.58	0.42	-0.00
11	-0.08	-0.35	0.50	-0.04
12	-0.67	-0.86**	0.32	0.36
Promedio (DE)	-0.31 \pm 0.37	-0.66 \pm 0.41	0.12 \pm 0.40	0.16 \pm 0.30

Nota. β = regresión lineal, DE= Desviación estándar, LB= Línea base, PS= Privación de sueño. ** $p < 0.01$

Se realizó una comparación grupal estadística de la estabilidad en el tiempo en la tarea antes y después de la privación de sueño y se obtuvo, un mayor decremento de las respuestas correctas hacia el final de la tarea (LB: -0.31 ± 0.37 , PS: -0.66 ± 0.41 correctas, $t=3.29$, $p < 0.01$) después de la privación de sueño, mientras que no se encontró diferencia en los tiempos de reacción (LB: 0.12 ± 0.40 , PS: 0.16 ± 0.30 tiempos de reacción, $t=0$, $p=NS$) (Figura 12, Tabla 5). Esto quiere decir que después de la privación de sueño, las respuestas correctas fueron disminuyendo hacia el final de la tarea, mientras que los tiempos de reacción se mantuvieron constantes a lo largo de la tarea.

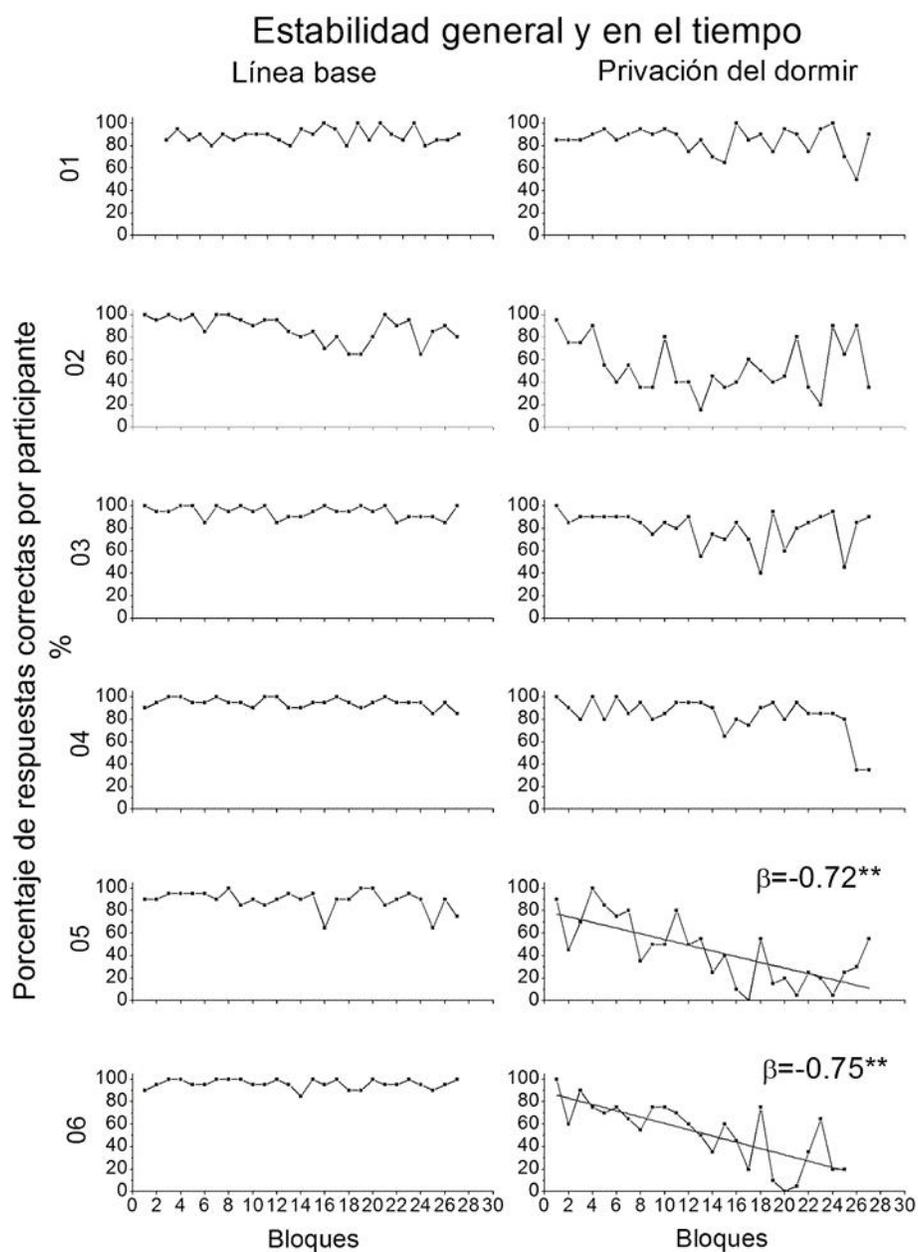


Figura 7. Porcentaje de respuestas correctas antes y después de la privación de sueño por participante. Participantes 1-6.

Nota. Cada gráfica representa el porcentaje de respuestas correctas en los 27 bloques de la TEC con 20 estímulos cada uno por participante. Las regresiones lineales significativas se representaron con una línea recta. β = regresión lineal, ** $p < 0.01$

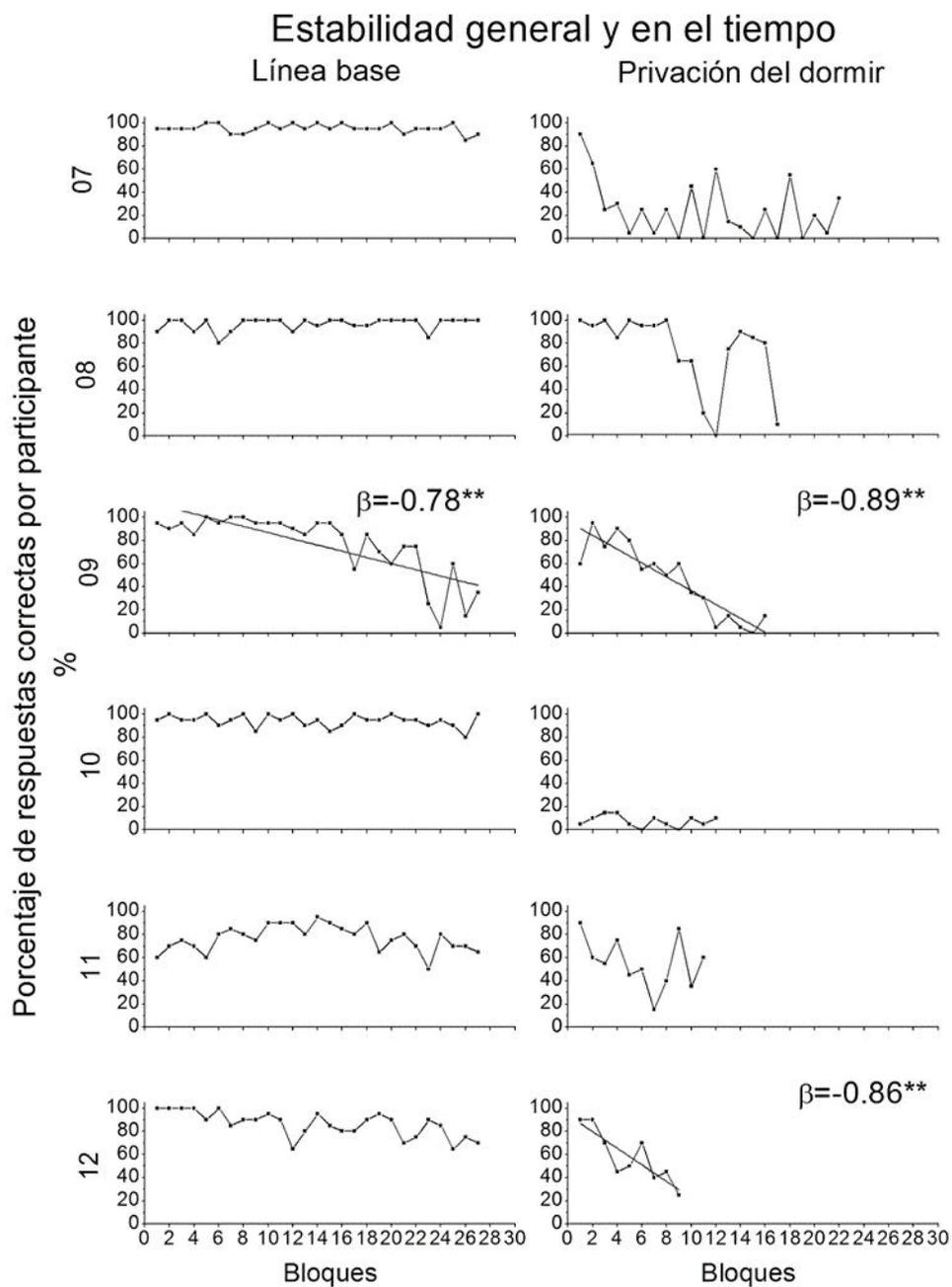


Figura 8. *Porcentaje de respuestas correctas antes y después de la privación de sueño por participante. Participantes 7-12*

Nota. Cada gráfica representa el porcentaje de respuestas correctas en los 27 bloques de la TEC con 20 estímulos cada uno por participante. Las regresiones lineares significativas se representaron con una línea recta. β = regresión lineal, $**p<0.01$

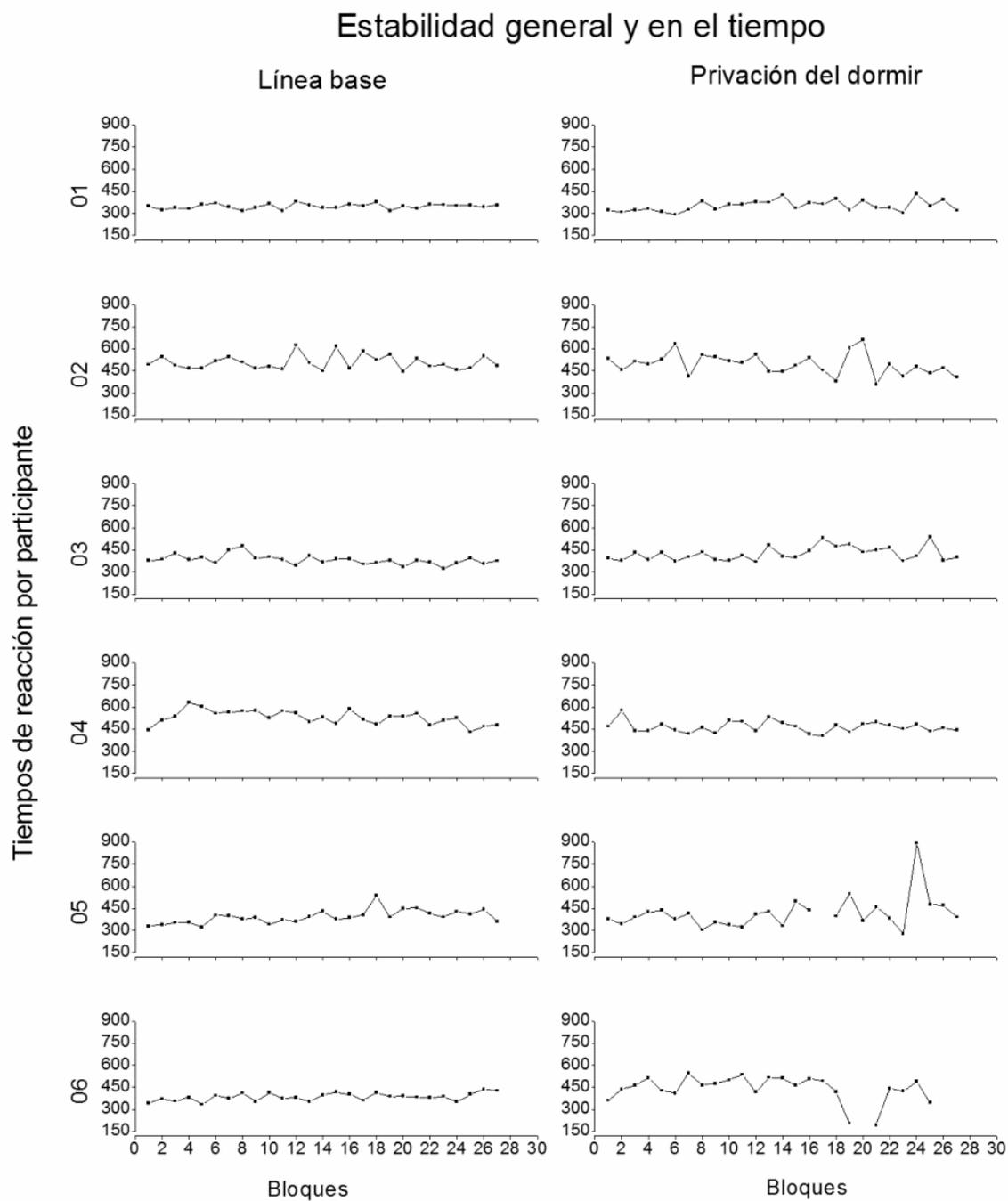


Figura 9. Ejecución por bloques en los tiempos de reacción de la tarea antes y después de la privación de sueño por participante. Participantes 1-6

Nota. Cada gráfica representa los tiempos de reacción en cada uno de los 27 bloques de la TEC con 20 estímulos cada uno por participante.

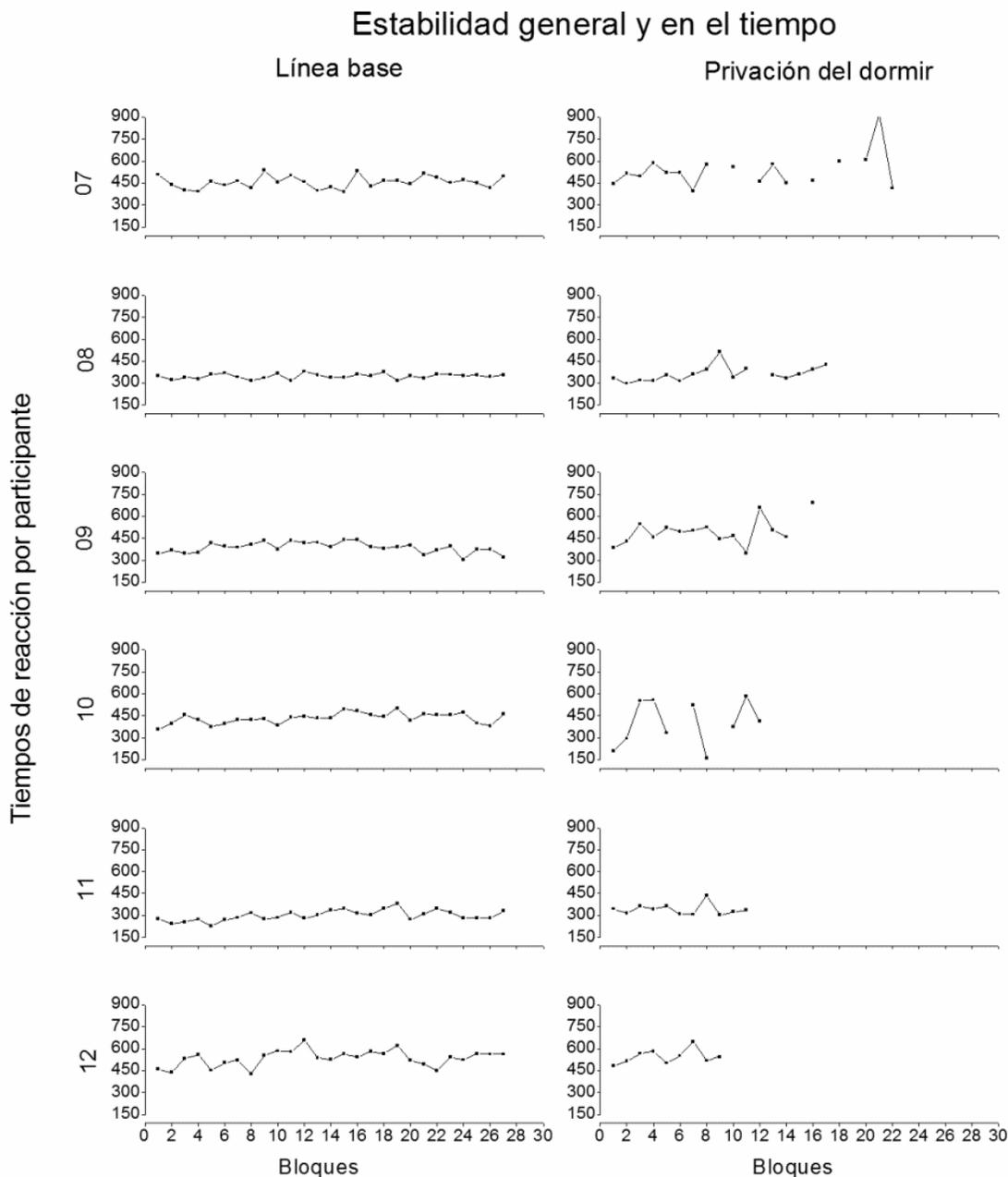


Figura 10. Ejecución por bloques en los tiempos de reacción de la tarea antes y después de la privación de sueño por participante. Participantes 7-12

Nota. Cada gráfica representa los tiempos de reacción de cada uno de los 27 bloques de la TEC con 20 estímulos cada uno por participante.

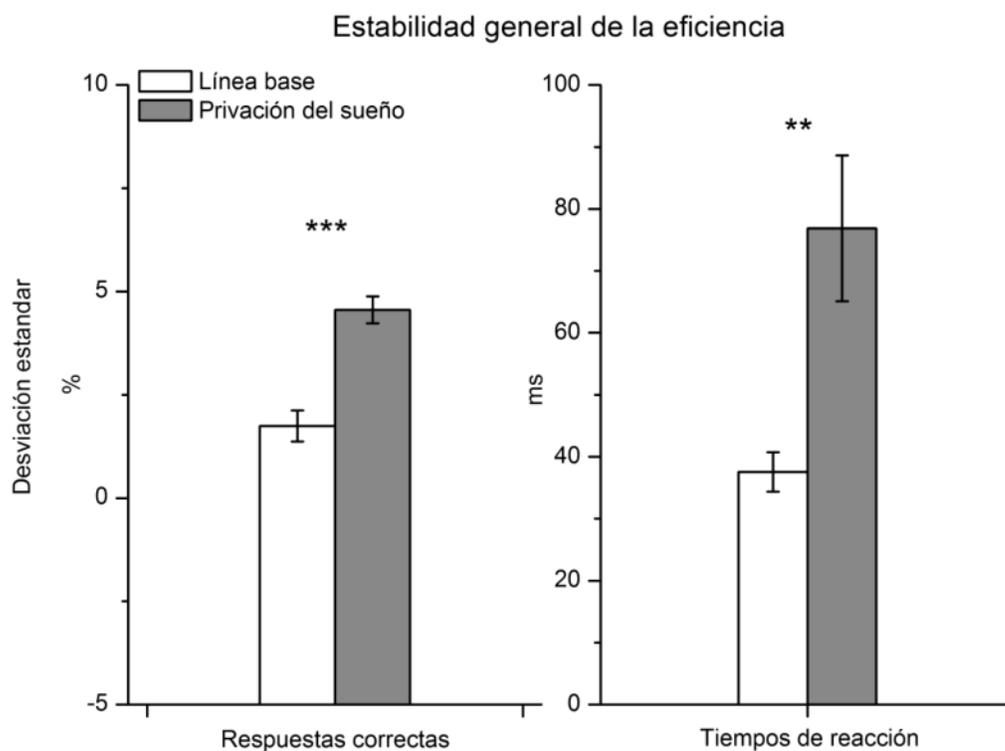


Figura 11. Estabilidad general de la eficiencia antes y después de la privación de sueño

Nota. Estabilidad general de la eficiencia antes (barras blancas) y después de la privación de sueño (barras grises). Las barras indican el promedio, las líneas verticales en medio de cada barra corresponden al error estándar. DE= desviación estándar, %= porcentaje, ms= milisegundos. ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

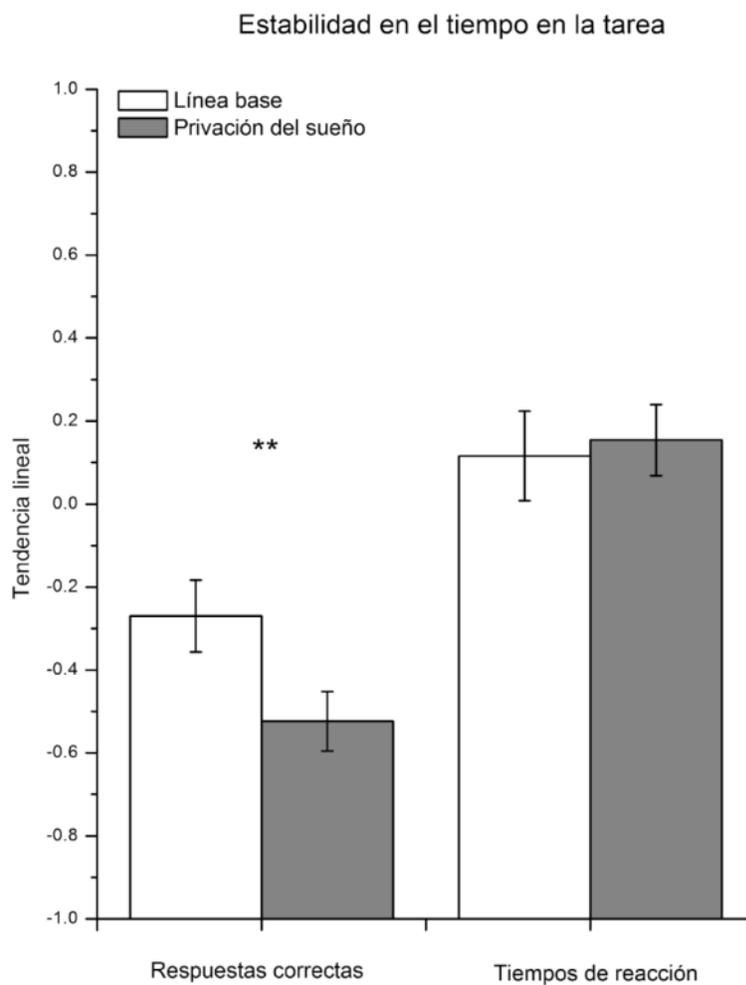


Figura 12. Estabilidad en el tiempo en la tarea antes y después de la privación de sueño

Nota. Estabilidad en el tiempo de la tarea antes (barras blancas) y después de la privación de sueño (barras grises). Las barras indican el promedio, las líneas verticales en medio de cada barra corresponden al error estándar. ****** $p < 0.01$.

Estabilidad a corto plazo

En el registro de línea base se mantuvo una longitud promedio larga de las secuencias de respuestas correctas a lo largo de la tarea en todos los participantes (Rango: 5.68-24.66) y hubo pocas secuencias de errores, todas con una longitud promedio corta (Rango: 2-5.72 errores). En la condición de privación de sueño la longitud de las secuencias de respuestas correctas disminuyó (Rango: 1.74-13.83) y la longitud de las secuencias de errores aumentaron (Rango: 2.84-19.37) a lo largo de la tarea a excepción de un participante (participante 1) que se mantuvo con secuencias de respuestas correctas parecidas a las que tuvo en línea base (Tabla 4, Figuras 13 y 14).

Tabla 4.

Promedio de longitud de las secuencias de respuestas correctas y errores por participante.

Participantes	LB Promedio de secuencias correctas	PS Promedio de secuencias correctas	LB Promedio de secuencias de errores	PS Promedio de secuencias de errores
01	9.33	10.85	3	2.84
02	12.23	7.02	2.23	5.61
03	20.32	9.55	2	3.63
04	18.25	12.36	2	4.61
05	10.90	5.16	2.1	6.80
06	24.66	5.19	2	7.72
07	23.36	5.55	2	19.37
08	34.8	13.83	5	8.42
09	7.05	5.26	5.72	10.64
10	18.77	9	2	18.59
11	5.68	1.74	2.45	7
12	11.42	1.90	2.44	6.5
Promedio (DE)	16.40±8.55	7.58±3.46	2.74±1.26	8.48±5.33

Nota. DE= Desviación estándar, LB= Línea base, PS= Privación de sueño

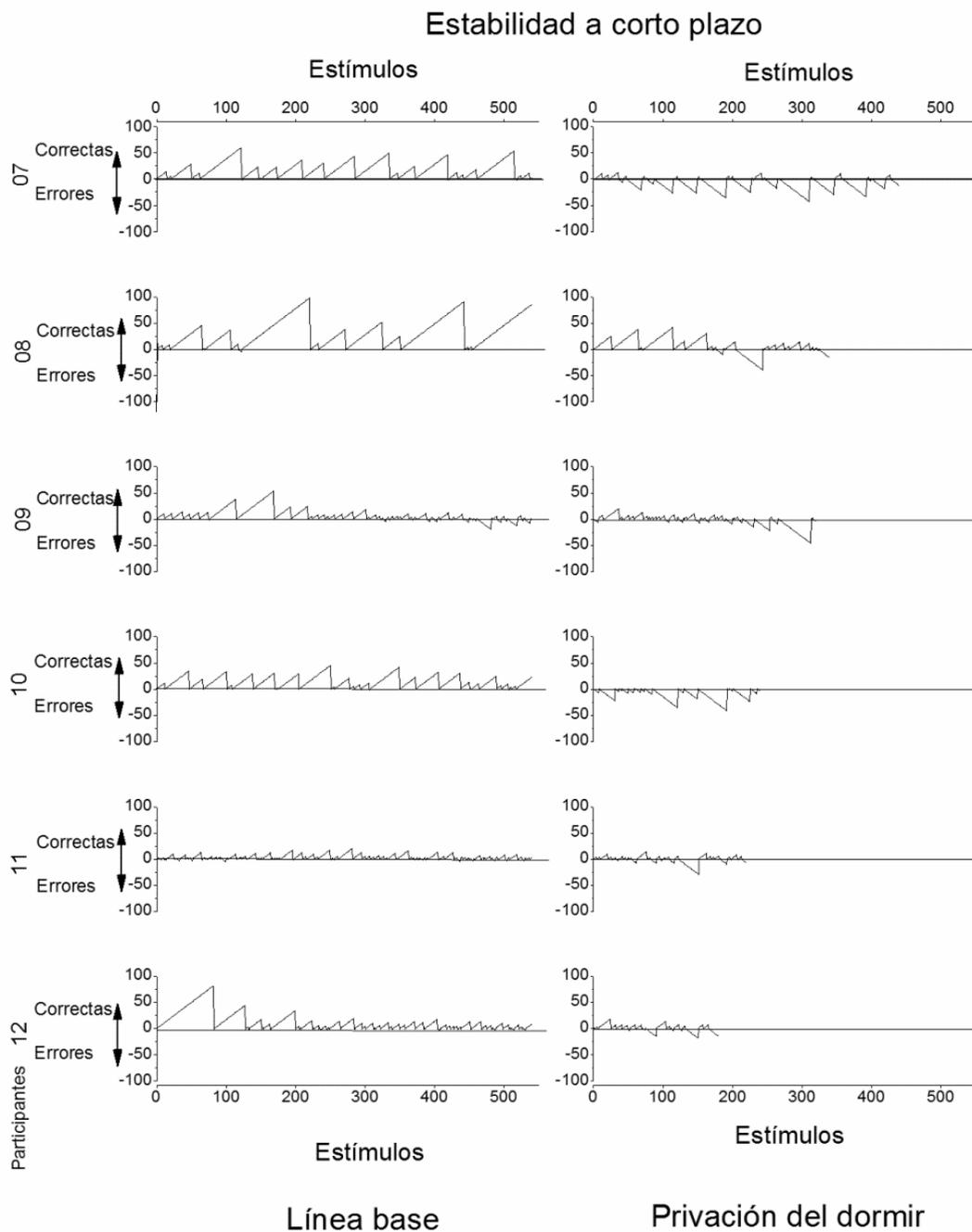


Figura 14. Estabilidad a corto plazo por participante, antes y después de la privación de sueño. Participantes 7-12

Nota. Cada gráfica representa el registro acumulativo de secuencias de aciertos (dirección ascendente) y secuencias de errores (dirección descendente) por participante durante la ejecución de los 540 estímulos de la TEC.

Se realizó una comparación grupal estadística entre la estabilidad a corto plazo antes y después de la privación de sueño y se encontró que disminuyó la longitud de secuencias de respuestas correctas (LB: 16.40 ± 8.55 , PS: 7.58 ± 3.46 correctas; $t=4.21$, $p<0.01$) mientras que aumentó la longitud de secuencias de errores (LB: 2.74 ± 1.26 , PS: 8.48 ± 5.33 errores; $t=-3.61$, $p<0.01$) después de la privación de sueño (Figura 15, Tabla 5). Esto implica que después de la privación de sueño las secuencias de respuestas correctas fueron más cortas y por otro lado las secuencias de respuestas erróneas seguidas fueron más largas.

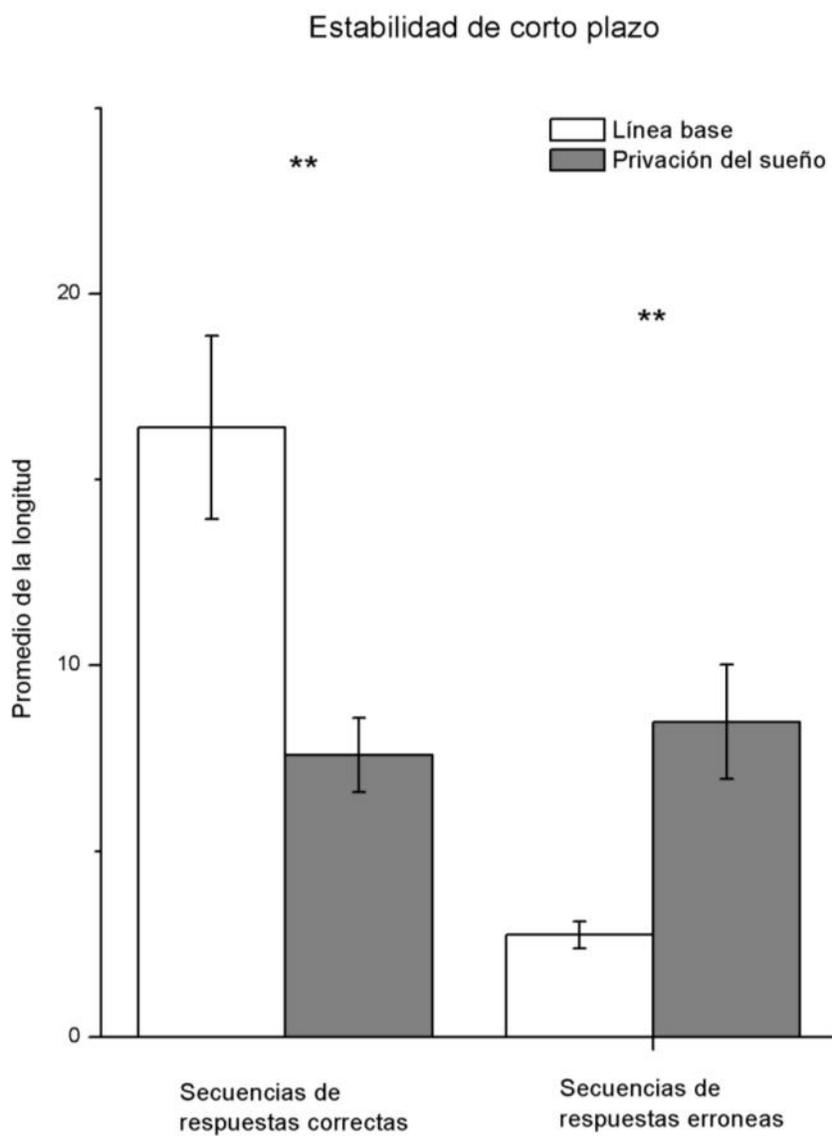


Figura 15. Estabilidad a corto plazo antes y después de la privación de sueño

Nota. Estabilidad a corto plazo antes (barras blancas) y después de la privación de sueño (barras grises). Las barras indican el promedio, las líneas verticales en medio de cada barra corresponden al error estándar. $**p < 0.01$.

Efectos de la privación del dormir en la actividad eléctrica cerebral

Se realizó una comparación entre la potencia de la actividad eléctrica cerebral antes (Figura 16) y después (Figura 17) de la privación de sueño.

En theta se registró un aumento en la potencia (LB: 12.99 ± 3.59 dB, PS: 14.84 ± 4.03 dB, $t = -4.62$, $p < 0.01$) después de la privación de sueño. En beta rápido se registró una disminución en la potencia (LB: -23.10 ± 8.24 dB, PS: -30.36 ± 9.39 dB, $t = 2.74$, $p < 0.05$) después de la privación de sueño. Sin embargo, en las bandas de delta (LB: 17.93 ± 4.23 , PS: 18.03 ± 4.94 , $t = 0.10$, NS), alfa (LB: 9.92 ± 4.31 dB, PS: 10.48 ± 5.42 dB, $t = 0.55$, NS) y beta lento (LB: -1.55 ± 8.79 dB, PS: -0.03 ± 14.40 dB, $t = 0.75$, NS) no se encontraron cambios (Figura 18, Tabla 6). Esto implica que después de la privación de sueño hay un aumento en la potencia de theta y una disminución en la potencia de beta rápido.



Figura 16. Ejemplo de una época de 30 segundos del EEG durante la línea base

Nota. Las áreas sombreadas son artefactos, estos momentos no se tomaron en cuenta para al análisis.

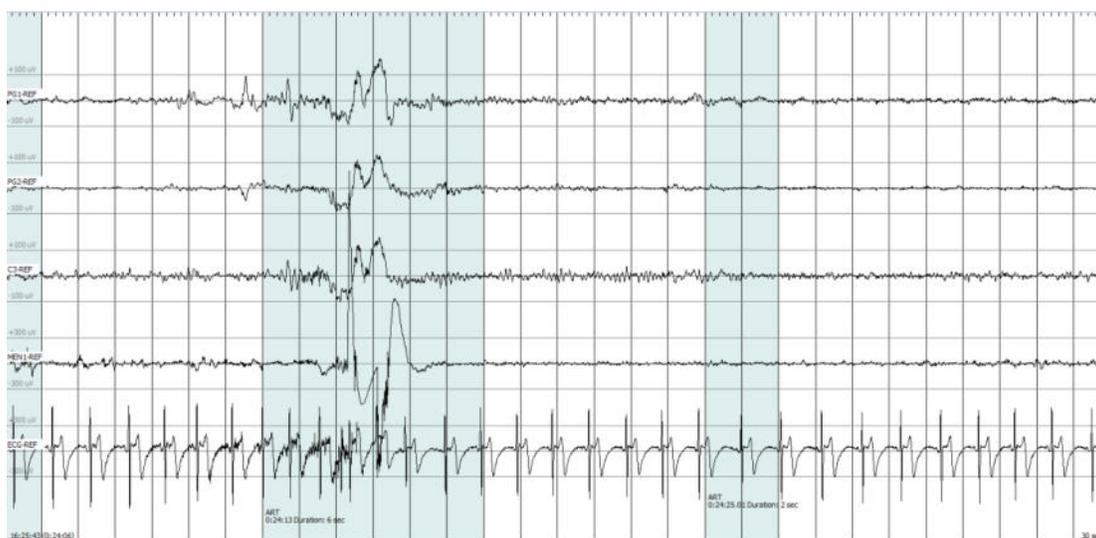


Figura 17. Ejemplo de una época de 30 segundos del EEG durante la privación de sueño

Nota. Las áreas sombreadas son artefactos, estos momentos no se tomaron en cuenta para al análisis.

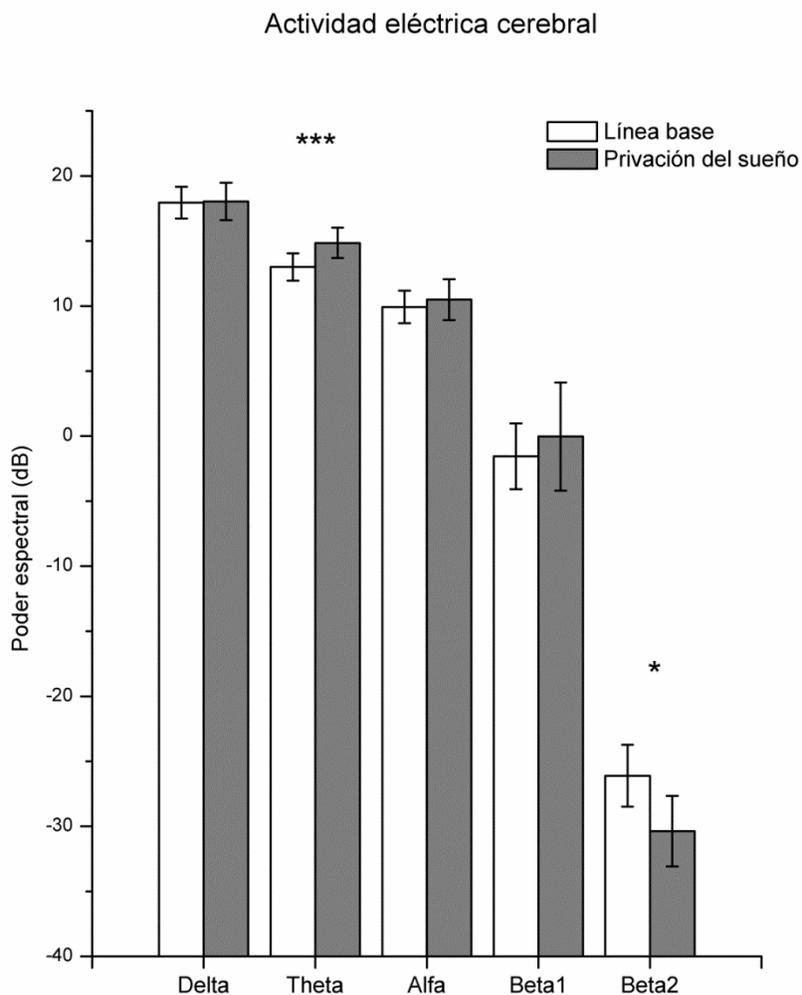


Figura 18. Actividad eléctrica cerebral antes y después de la privación de sueño

Nota. Actividad eléctrica cerebral antes (barras blancas) y después de la privación de sueño (barras grises). Las barras indican el promedio, las líneas verticales en medio de cada barra corresponden al error estándar. * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

Tabla 5.

Comparaciones entre línea base y privación de sueño en los indicadores de la atención sostenida

	Media \pm DE		Dif	t	d
	LB	PS			
Atención sostenida					
Estabilidad general de la eficiencia					
DE correctas	1.74 \pm 1.29	4.55 \pm 1.41	-2.81	-7.24***	1.58
DE tiempos de reacción	37.53 \pm 10.99	76.87 \pm 40.83	-39.33	-3.30**	2.59
Estabilidad en el tiempo en la tarea					
Tendencia lineal de correctas	-0.31 \pm 0.37	-0.66 \pm 0.41	0.35	3.29**	-0.68
Tendencia lineal tiempos de reacción	0.12 \pm 0.40	0.16 \pm 0.30	-0.03	0	0.73
Estabilidad a corto plazo					
Secuencias correctas	16.40 \pm 8.55	7.58 \pm 3.46	8.81	4.21**	-0.74
Secuencias errores	2.74 \pm 1.26	8.48 \pm 5.33	-5.73	-3.61**	3.30

Nota. DE= Desviación estándar, Dif= diferencia entre medias, t= t de Student, d= tamaño de efecto de Cohen, LB= Línea base, PS= Privación de sueño. ** $p < .01$, *** $p < .001$

Tabla 6.

Comparaciones entre línea base y privación de sueño en la somnolencia y la actividad eléctrica cerebral.

	Media \pm DE		Dif	t	d
	LB	PS			
Somnolencia	1.28 \pm 1.77	6.57 \pm 2.44	-5.70	-6.11***	2.16
Actividad eléctrica cerebral					
Delta	17.93 \pm 4.23	18.03 \pm 4.94	-0.09	-0.10	0.01
Theta	12.99 \pm 3.59	14.84 \pm 4.03	-1.84	-4.62***	0.37
Alfa	9.92 \pm 4.31	10.48 \pm 5.42	-0.56	-0.55	0.09
Beta 1	-1.55 \pm 8.79	-0.03 \pm 14.40	-1.51	-0.75	0.12
Beta 2	-23.10 \pm 8.24	-30.36 \pm 9.39	4.26	2.74*	-0.63

Nota. DE= Desviación estándar, Dif= diferencia entre medias, t= t de Student, d= tamaño de efecto de Cohen, LB= Línea base, PS= Privación de sueño. * $p < .05$, *** $p < .001$.

Atención sostenida y actividad eléctrica cerebral

Estabilidad general de la eficiencia

En línea base no se encontró correlación significativa entre la estabilidad general de la eficiencia y la actividad eléctrica cerebral.

En privación de sueño se encontró una correlación positiva entre la variabilidad de las respuestas correctas con la banda theta ($r=0.79$, $p<0.01$) y la variabilidad de los tiempos de reacción también con la banda theta ($r=0.80$, $p<0.01$). Esto significa que en privación de sueño las personas con a mayor potencia de theta tuvieron mayor variabilidad las respuestas correctas (Figura 19, Tabla 7) y los tiempos de reacción (Figura 20, Tabla 7). A mayor potencia de theta, mayor la alternancia entre respuestas correctas e incorrectas y mayor variabilidad en el tiempo en que tardaban en contestar.

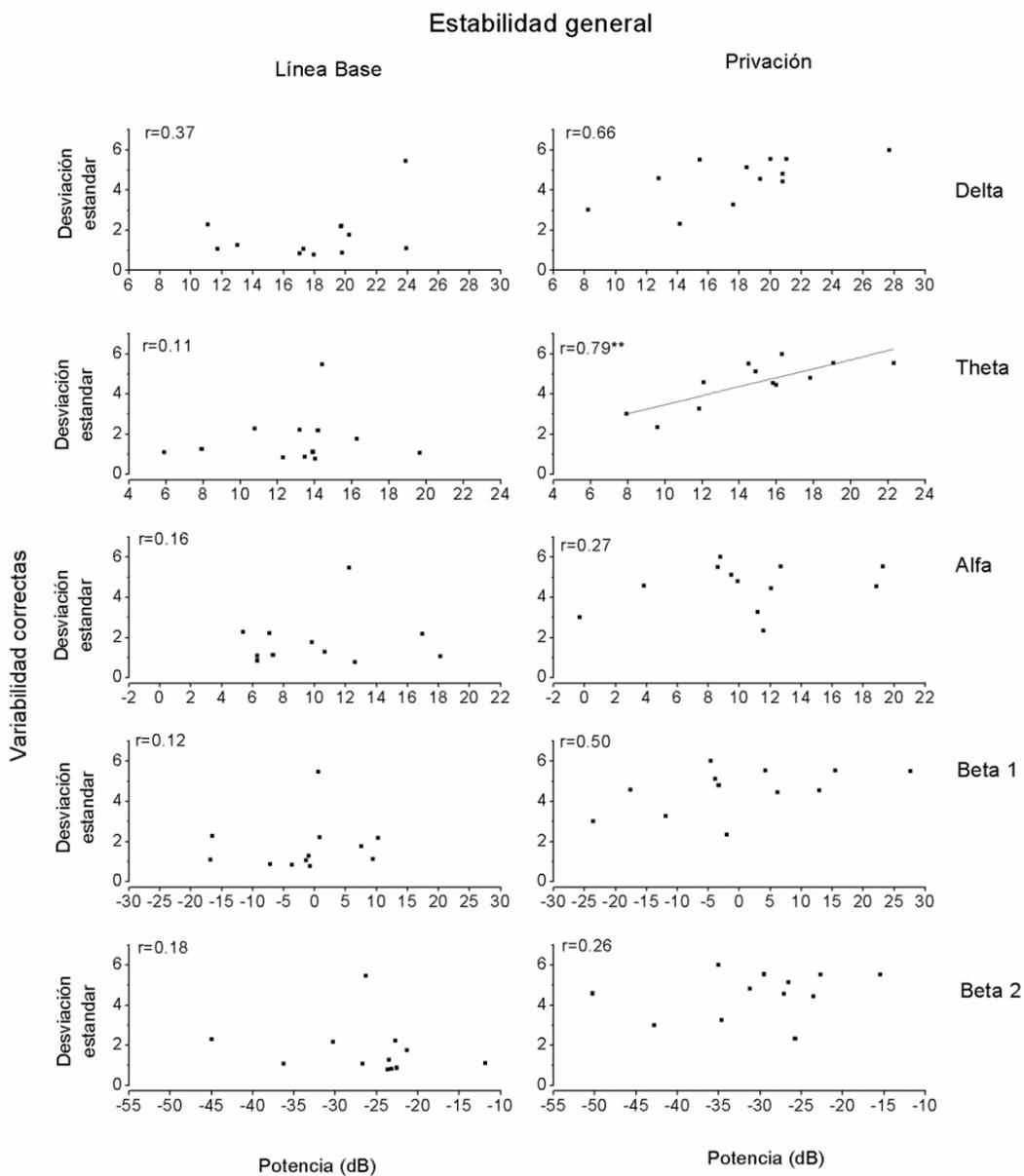


Figura 19. Estabilidad general de la eficiencia de respuestas correctas y la actividad eléctrica cerebral

Nota. Correlaciones de la variabilidad de respuestas correctas y actividad eléctrica cerebral en línea base (izquierda) y privación de sueño (derecha). ** $p < 0.01$

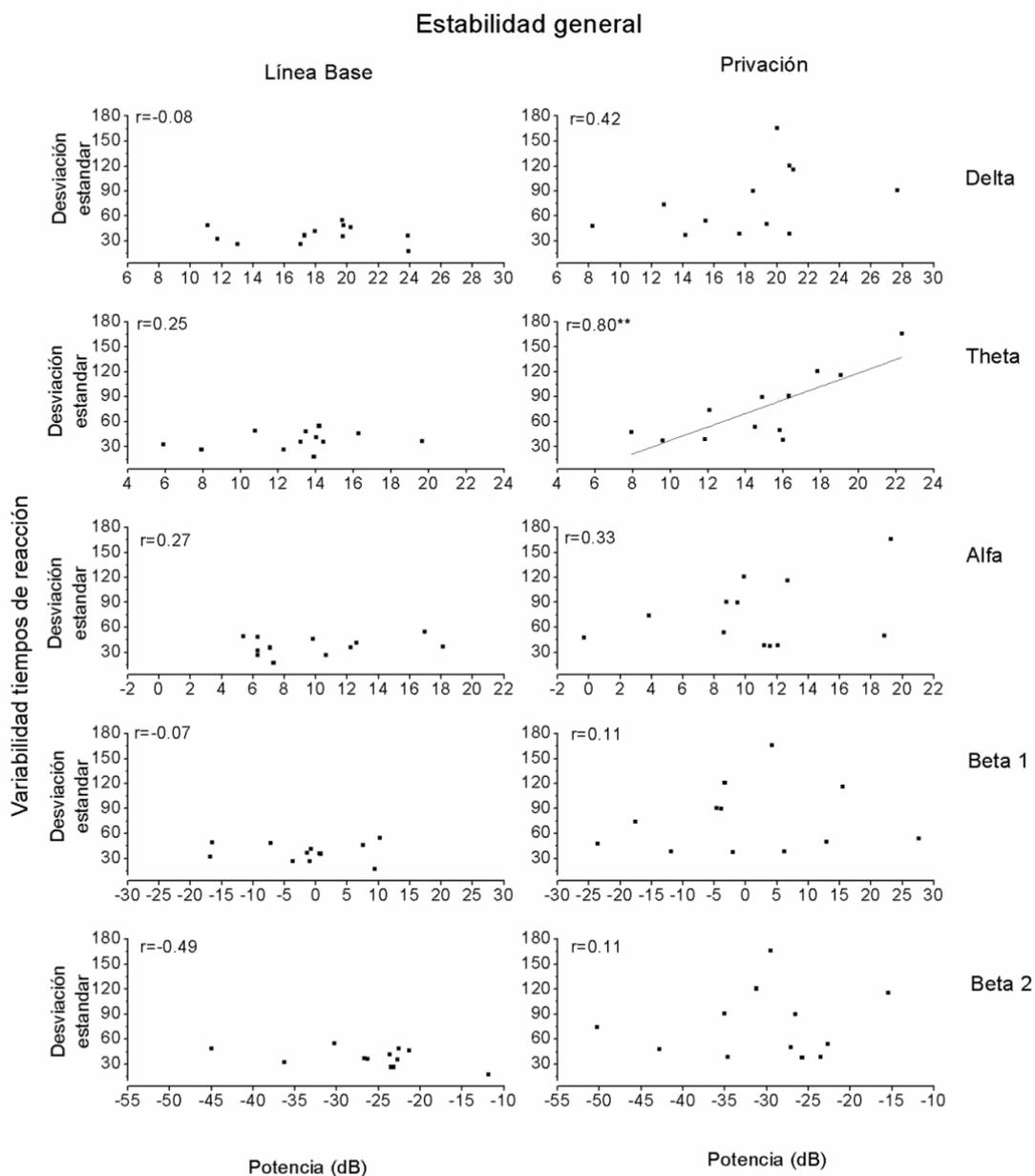


Figura 20. Estabilidad general de la eficiencia de tiempos de reacción y la actividad eléctrica cerebral

Nota. Correlaciones de la variabilidad de tiempos de reacción y actividad eléctrica cerebral en línea base (izquierda) y privación de sueño (derecha). ** $p < 0.01$

Estabilidad en el tiempo de la tarea

En línea base no se encontraron correlaciones significativas entre la estabilidad en el tiempo de correctas ni de tiempo de reacción y la actividad eléctrica cerebral.

En privación de sueño tampoco se encontraron correlaciones entre la estabilidad en el tiempo de las respuestas correctas (Figura 21, Tabla 7) ni en los tiempos de reacción (Figura 22, Tabla 7) con la actividad eléctrica cerebral. Esto quiere decir que los efectos de la privación del dormir en el deterioro de las respuestas correctas y el tiempo en que tardan en contestar los participantes a lo largo de la tarea no están relacionados con la actividad eléctrica cerebral.

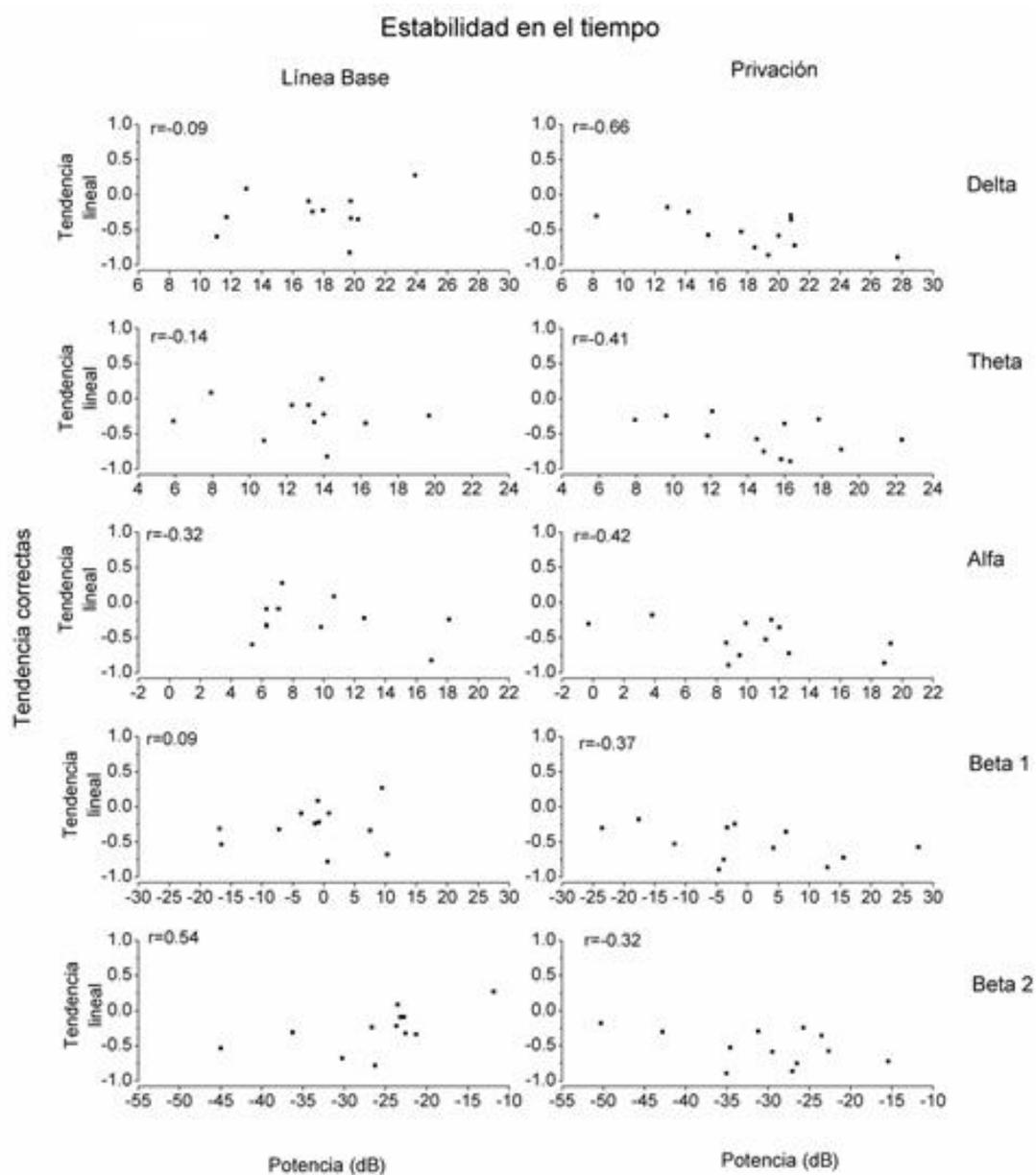


Figura 21. Estabilidad en el tiempo de respuestas correctas y la actividad eléctrica cerebral

Nota. Correlaciones de la estabilidad en el tiempo de respuestas correctas y actividad eléctrica cerebral en línea base (izquierda) y privación de sueño (derecha).

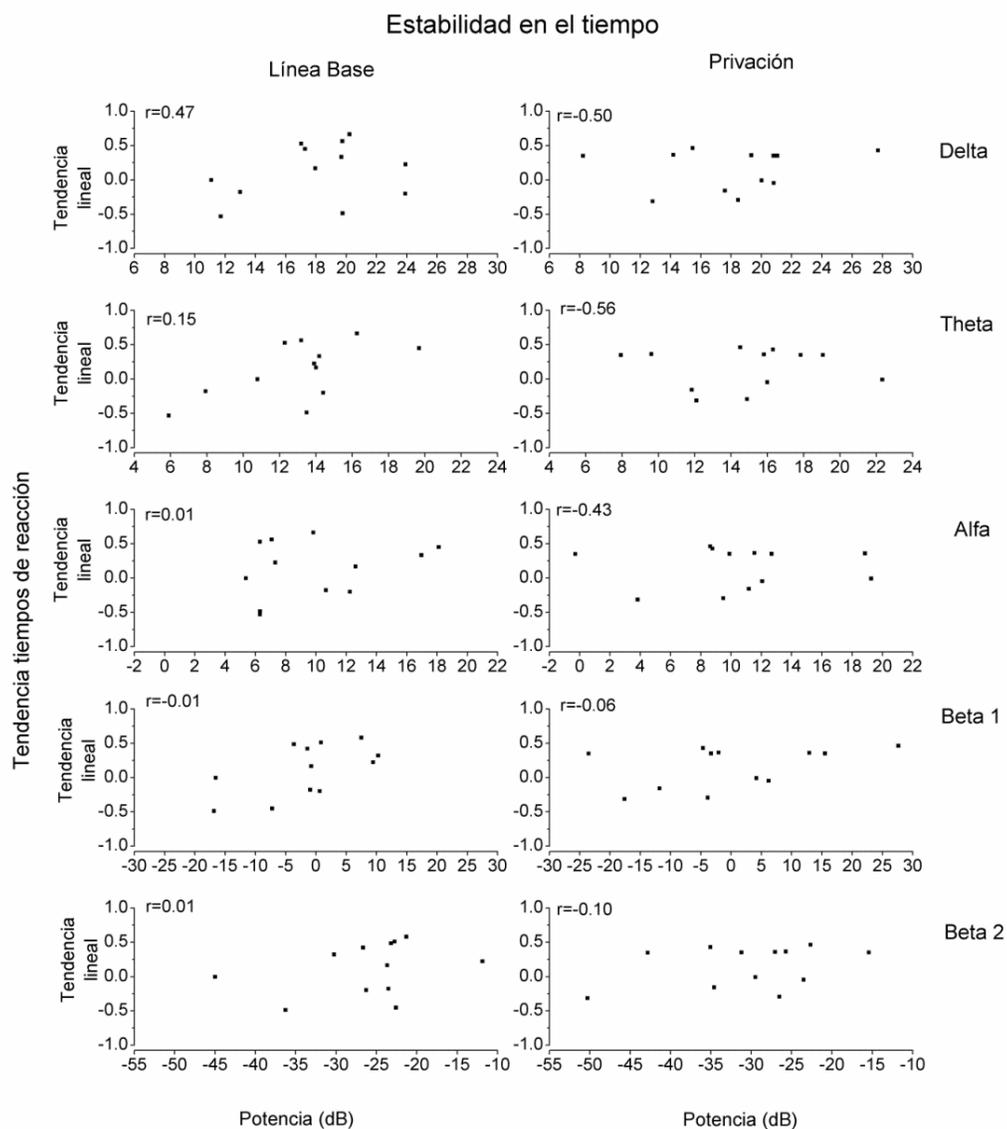


Figura 22. Estabilidad en el tiempo de tiempos de reacción y la actividad eléctrica cerebral

Nota. Correlaciones de la estabilidad en el tiempo de respuestas correctas y actividad eléctrica cerebral en línea base (izquierda) y privación de sueño (derecha).

Estabilidad a corto plazo

En línea base no se encontraron correlaciones significativas entre la estabilidad a corto plazo y la actividad eléctrica cerebral.

En privación de sueño no se encontró una relación entre la longitud de respuestas correctas y la actividad eléctrica cerebral. Sin embargo, se encontró una correlación positiva entre la longitud de secuencias de errores y la banda de theta ($r=0.74$, $p<0.01$). Esto se refiere a que a mayor potencia de theta la longitud de las secuencias de errores fue mayor (Figura 23 y 24; Tabla 7). A mayor potencia de theta, mayor promedio de respuestas erróneas seguidas.

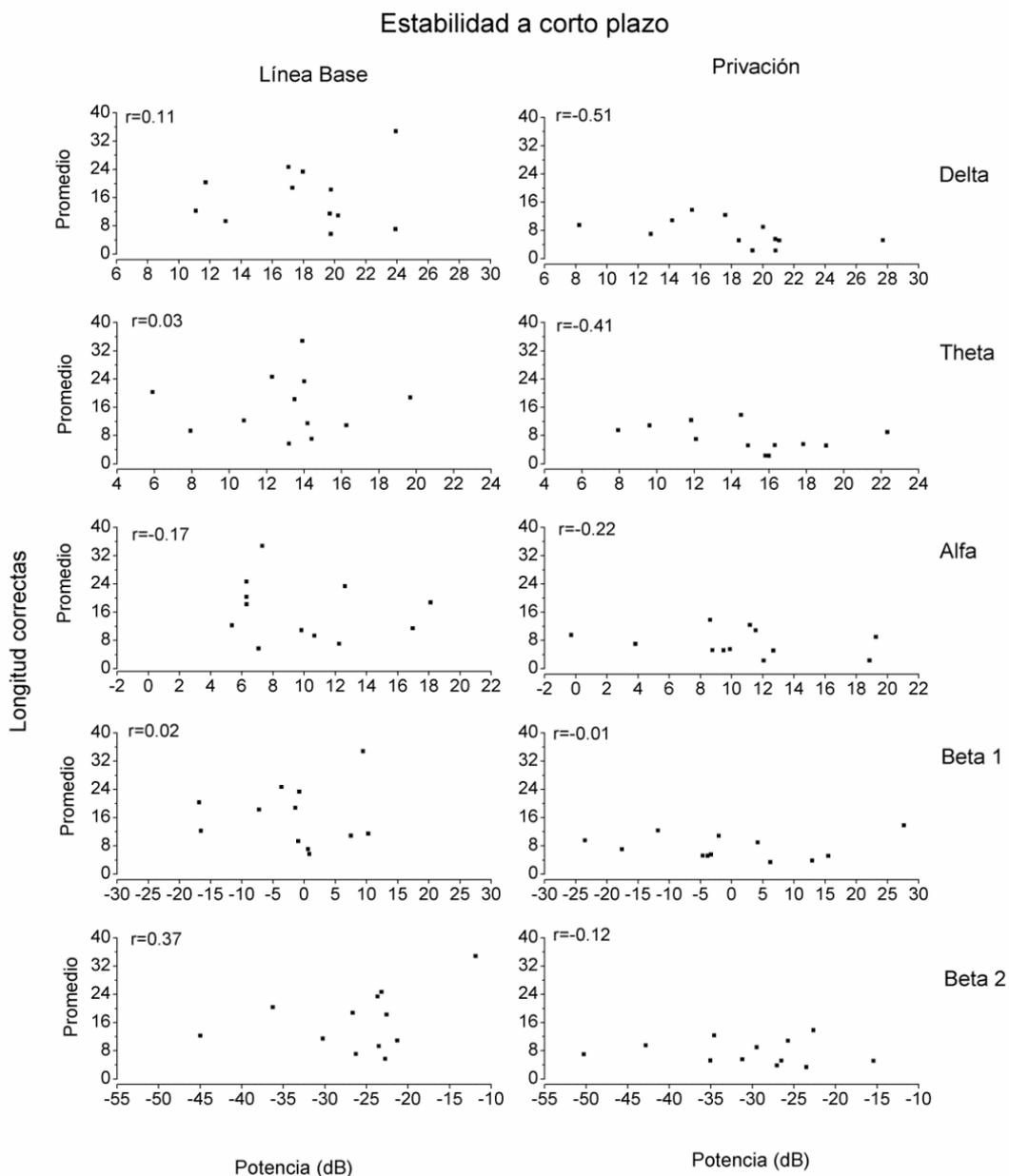


Figura 23. *Secuencias de correctas (estabilidad a corto plazo) y la actividad eléctrica cerebral*

Nota. Correlaciones de las secuencias de correctas y actividad eléctrica cerebral en línea base (izquierda) y privación de sueño (derecha).

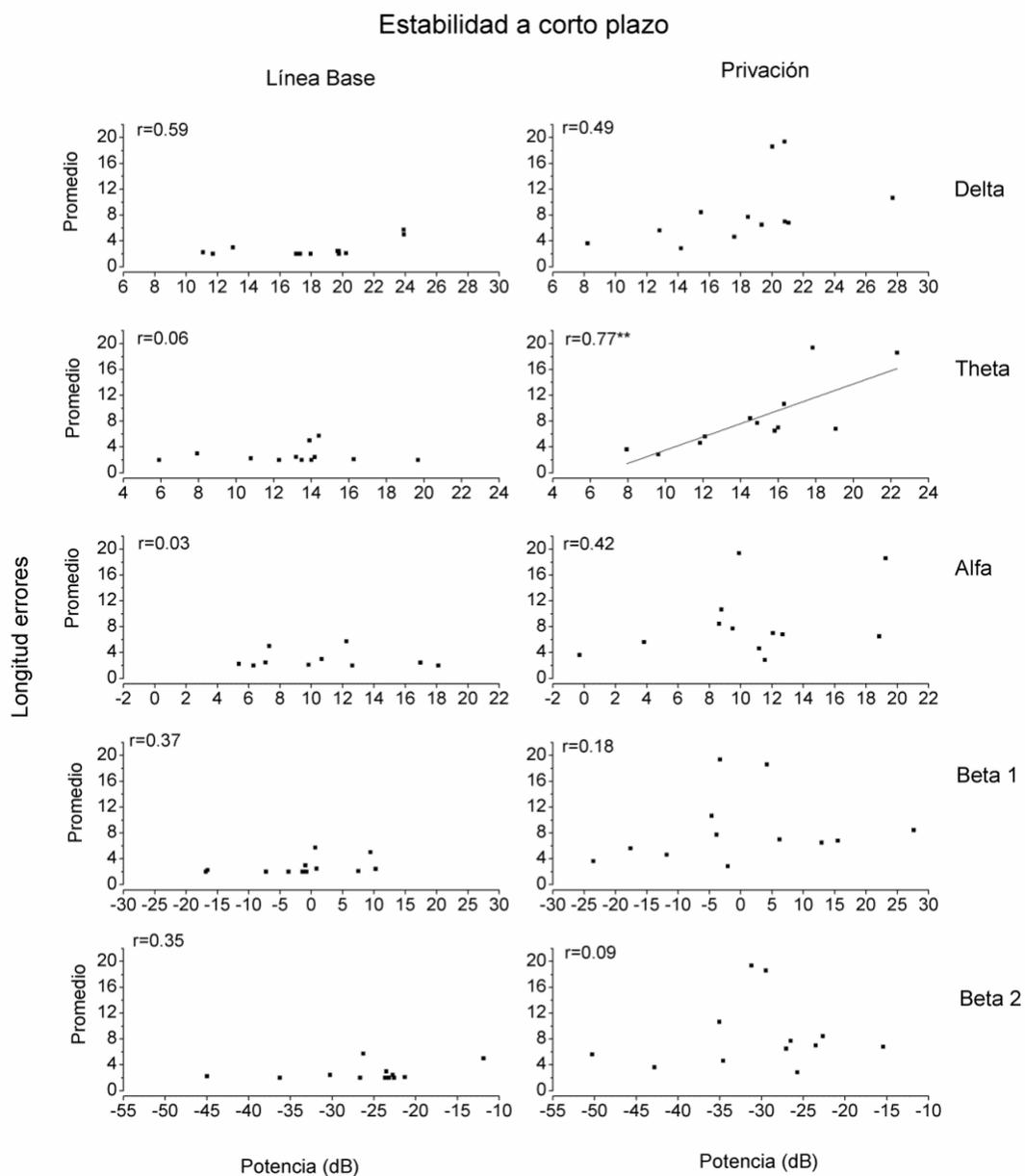


Figura 24. Secuencias de errores (estabilidad a corto plazo) y la actividad eléctrica cerebral

Nota. Correlaciones de las secuencias de errores y actividad eléctrica cerebral en línea base (izquierda) y privación de sueño (derecha). ** $p < 0.01$.

Tabla 7.

Correlaciones (r) entre la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral en línea base y en privación de sueño

Atención sostenida	Correlación con actividad cerebral				
	Bandas				
	Delta	Theta	Alfa	Beta 1	Beta 2
Línea Base					
Estabilidad general de la eficiencia					
DE correctas	0.37	0.11	0.16	0.12	-0.18
DE tiempos de reacción	-0.08	0.25	0.27	-0.07	-0.49
Estabilidad en el tiempo en la tarea					
Tendencia lineal de correctas	-0.09	-0.14	-0.32	0.09	0.54
Tendencia lineal de tiempos de reacción	0.30	0.61	0.28	0.59	0.32
Estabilidad a corto plazo					
Secuencias correctas	0.11	0.03	-0.17	0.02	0.37
Secuencia errores	0.59	0.06	0.03	0.37	0.35
Privación de Sueño					
Estabilidad general de la eficiencia					
DE correctas	0.66	0.79**	0.27	0.50	0.26
DE tiempos de reacción	0.42	0.80**	0.33	0.11	0.11
Estabilidad en el tiempo en la tarea					
Tendencia lineal de correctas	-0.66	-0.41	-0.42	-0.37	-0.32
Tendencia lineal de tiempos de reacción	0.13	0.01	0.03	0.41	0.34
Estabilidad a corto plazo					
Secuencias de correctas	-0.51	-0.41	-0.22	-0.01	-0.12
Secuencias de errores	0.49	0.77**	0.37	0.18	0.09

Nota. DE= desviación estándar, ** $p < 0.01$. En el análisis de correlación los números positivos significan una correlación positiva y los números negativos una correlación negativa.

V. DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio fue conocer los efectos de la privación de sueño en la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral, así como su correlación. Para conocer esto se aplicó una tarea de ejecución continua para registrar la atención sostenida y se realizó un registro electroencefalográfico para medir la actividad eléctrica cerebral, también se registró su somnolencia subjetiva por medio de una escala visual antes de aplicar la tarea.

La privación de sueño afectó todos los indicadores de atención sostenida. En la estabilidad general de la eficiencia después de la privación de sueño aumentó la variabilidad de las respuestas correctas, lo cual concuerda con lo ya reportado por Valdez et al. (2010) y en cuanto a los tiempos de reacción también fueron más variables después de la privación y esto coincide con lo que encontraron Valdez et al. (2010) y Ogilive y Hatsh (1994).

En la estabilidad en el tiempo después de la privación de sueño se observó un decremento en las respuestas correctas hacia el final de la tarea, esto concuerda con lo reportado por Valdez (2010), incluso en los participantes que no terminaron de responder la tarea. Mientras que en los tiempos de reacción no se encontró ningún decremento o aumento hacia el final de la tarea, se ha observado en estudios como los de Lim y Dinges (2008) y Ogilive y Hatsh, (1994) que los tiempos de reacción aumentan con la privación de sueño, pero no observaron cómo cambiaron a lo largo de la tarea, lo que indica que el aumento es desde el inicio de la tarea. Valdez (2010) tampoco encontró un aumento o decremento en la estabilidad en el tiempo de los

tiempos de reacción en su estudio, esto podría deberse a que los participantes siguieron respondiendo a la tarea sin importar que sus respuestas fueran correctas o incorrectas. Así que, los participantes se mantuvieron contestando de manera constante a lo largo de la tarea por eso no hubo cambios en los tiempos de reacción, pero sus respuestas correctas disminuyeron hacia el final de la tarea.

En la estabilidad a corto plazo después de la privación de sueño se registró que disminuyeron las secuencias de respuestas correctas y en cambio aumentaron las secuencias de errores que coincide con lo reportado por Lim y Dingus (2008) y Valdez (2010).

En cuanto a la actividad eléctrica cerebral, después de la privación de sueño se registró una disminución en la potencia de beta rápido, que se ha relacionado a la ejecución de actividades que demandan carga cognitiva (Ray & Cole, 1985) y un decremento en esta banda ha sido asociado a un decremento en la atención sostenida (Belyavin & Wright., 1987). Mientras que se registró un aumento en la potencia de theta con la privación de sueño, este aumento también se puede relacionar con el aumento reportado por Gale & Edwards (1983), el aumento en la potencia de theta también puede sugerir la presencia de somnolencia en las personas (Cajochen, et al., 1995; De Gennaro, Ferrara & Bertini, 2001; Strijkstra, 2003). En las demás bandas (delta, alfa, y beta lento) no se encontraron cambios. El hecho de no encontrar cambios en la potencia de delta puede ser debido a diferentes razones. Por ejemplo, Harmony, et al. (1996) proponen que influye si la tarea depende de contestar ante estímulos que se presenten en el ambiente (TEC, TPV, etc.) o si depende de un procesamiento interno (como hacer un cálculo matemático o pedirle que recuerde alguna información), ya que mencionan que en tareas que

dependen de un procesamiento interno aumenta delta. En el caso de este estudio se aplicó una TEC que depende de que los participantes respondan ante un estímulo en el ambiente por lo que esta puede ser una posible razón del porque no hubo un incremento significativo en la potencia de delta (Carskadon & Dement, 2011); también se observa un aumento de delta durante el proceso del inicio del dormir utilizando análisis espectral (Borroni, 2021), lo que se evitó en este estudio al analizar solo cuando las personas estaban respondiendo la TEC. En cuanto a la ausencia de cambios en la potencia de alfa se puede deber a que, aunque su aparición si es durante la vigilia, predomina mientras las personas se encuentran en vigilia relajada (Carskadon & Dement, 2011) y en este caso los participantes no se encontraban en esta condición ya que estaban contestando la TEC. A diferencia de los resultados de esta tesis, Fernández-Guardiola et al. (1972) sí encontraron un aumento en alfa con la privación del dormir, ya que sus participantes si se encontraban con los ojos cerrados mientras respondían.

En forma de resumen, la privación de sueño causó que las personas al ejecutar la tarea sus respuestas fueran muy variables y con el paso del tiempo disminuyeron sus aciertos, el tiempo en que tardaron en responder fue más variable y también la longitud de secuencias de aciertos fue menor mientras que tuvieron mayor longitud de secuencias de errores. En la actividad eléctrica cerebral causó una disminución en la potencia de beta rápido y un aumento en la potencia de theta mientras que también causó que los participantes reportaran un aumento en su somnolencia subjetiva.

Por otro lado, solo algunos de los indicadores de la atención sostenida se correlacionaron con la potencia de la onda theta en la de privación de sueño. En la

condición de línea base no se encontró ninguna correlación entre los indicadores de atención sostenida y las ondas cerebrales. Estos resultados no concuerdan con el estudio realizado por Belyavin y Wright (1987), que reportan una relación entre beta y la realización de actividades que demandan sostener la atención, lo que puede deberse a que la tarea que aplicaron fue diferente ya que tenía una duración más larga y era monótona, con lo que sus participantes tuvieron un decremento en su ejecución acompañado de un decremento de beta. De igual forma, en un estudio que realizaron Makeig et al. (2000) en donde aplicaron una tarea de seguimiento psicomotor, reportaron que un aumento en theta se relacionó con un aumento en los tiempos de reacción, mientras que los participantes no estaban en privación de sueño; sin embargo, no se analizaron los indicadores de la atención sostenida. Debido a lo anterior, hasta antes de los resultados de este estudio no se conocía si había una relación entre los indicadores de atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral sin privación de sueño, la cual fue descartada.

En la condición de privación de sueño sí se encontró una correlación entre la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral, de forma más específica solo se encontró correlación entre theta y los indicadores de estabilidad general de la eficiencia y estabilidad a corto plazo, mientras que con la estabilidad en el tiempo no se encontró ninguna relación. En cuanto a la estabilidad general de la eficiencia se encontró que, a mayor potencia de theta, mayor variabilidad de las respuestas correctas y mayor variabilidad de los tiempos de reacción de las personas, esto significa que al aumentar theta las respuestas de los participantes variaron más entre aciertos y errores y también varió la velocidad a la que respondieron a los estímulos.

En la estabilidad a corto plazo se encontró que, a mayor potencia de theta, secuencias de errores más largas.

El hecho de que la disminución de beta rápido no se haya correlacionado con los indicadores de atención sostenida, siendo la onda que más se correlaciona en otros estudios con una buena ejecución, puede deberse a dos motivos. El primero puede ser a la señal que se utilizó para realizar el estudio, se ha observado que el decremento en beta en zonas frontales es el que se correlaciona más con una baja ejecución (Belyavin y Wright 1987; Borrani et al., 2021) y en este estudio se analizó una señal central con el fin de observar la activación eléctrica general del cerebro con privación de sueño, ya que los canales centrales se han usado para observar cambios en la activación relacionados al ciclo sueño-vigilia (Spriggs, 2009). Las neuronas de la corteza frontal poseen propiedades intrínsecas que generan actividad de alta frecuencia (Garrido, 2006), por lo que un decremento de beta en zonas frontales podría ser más significativa que en zonas centrales. El otro motivo puede ser por la misma privación de sueño, en los estudios citados en este trabajo en donde correlacionaron beta con una buena ejecución (Belyavin y Wright 1987; Makeig & Jung, 1995), los participantes no se encontraban en privación de sueño. Como se mencionó en párrafos anteriores, la privación de sueño aumenta la somnolencia de las personas (García et al., 2021) y la somnolencia la han correlacionado con el aumento de theta (Cajochen, et al., 1995; De Gennaro, Ferrara & Bertini, 2001; Strijkstra, 2003), por lo que el hecho de estar en privación de sueño puede explicar por qué el incremento en theta fue más significativo que el decremento en beta al compararlo con la baja ejecución que tuvieron.

En resumen, en privación de sueño al aumentar la potencia de theta aumentaron la variabilidad de las respuestas y los tiempos de reacción y la secuencia de errores también se prolongó. En los estudios previos de privación del dormir en donde han relacionado la atención con la actividad eléctrica cerebral también han encontrado un bajo rendimiento en la ejecución cognoscitiva con el aumento de theta, aunque solo han encontrado una relación con el aumento de los tiempos de reacción, en parte porque es lo que miden las tareas aplicadas. Por ejemplo, en el estudio que realizó Corsi (2008) en donde aplicó una tarea de seguimiento psicomotor encontró que un aumento en theta, alfa y beta se relacionó con un aumento en los tiempos de reacción luego de una privación del dormir. Sin embargo, ninguno de los estudios reportó aciertos y/o errores de los participantes, esto es importante mencionar ya que el hecho de que las personas tarden en contestar a un estímulo, si bien es parte importante para tener una buena ejecución, no indica si la persona contestó de manera correcta o incorrecta al estímulo.

Debido a lo anterior, el conocer que al aumentar la potencia de theta las personas no solo tardan más en responder como se reportó en los estudios antes mencionados, sino que también puede que en ocasiones respondan a tiempo y en otras no, que estas respuestas pueden ser tanto correctas como incorrectas y que incrementan las respuestas incorrectas seguidas complementa lo que se conocía de los efectos de la privación de sueño en la atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral.

El hecho de que theta sea la única onda que se relacionó con una baja ejecución de la atención sostenida en privación del sueño podría deberse al aumento en la somnolencia. La privación de sueño en los humanos produce un aumento en la

somnolencia y existen varios estudios en donde han correlacionado un aumento de theta con la presencia de somnolencia. Cajochen, et al. (1995) y Strijkstra (2003) relacionaron la somnolencia con un aumento en theta y alfa, Corsi. et al. (1992) encontraron una relación con un incremento en theta y De Gennaro, Ferrara & Bertini (2001) encontraron una relación con un incremento en theta y delta. Todos los estudios antes mencionados tienen en común que relacionaron la presencia de somnolencia con un incremento en la potencia de theta y la presencia de somnolencia se acompaña de una disminución en la ejecución cognoscitiva (Cabrera, 2008; Valdez, 2015). En este estudio se observó un incremento en la somnolencia reportada por los participantes después de la privación de sueño, por lo que la presencia de somnolencia podría explicar el aumento de theta y la disminución en su atención sostenida.

En la somnolencia reportada por los participantes de este estudio, algunos de ellos obtuvieron puntajes altos en la escala de somnolencia de Epworth. Es común que los estudiantes universitarios reporten somnolencia diurna de acuerdo con la escala de somnolencia de Epworth (Escobar, et al., 2008) y se ha observado que esto aumenta conforme avanza el ciclo escolar (Rodrigues, et al., 2002), esto puede deberse a la tendencia de los estudiantes a aplazar las tareas y las jornadas de preparación de exámenes hasta el día anterior y esto hace que trasnochen y se incremente la posibilidad de que se priven del dormir (Agudelo, et al., 2005). Por esto mismo, para evitar que durante el registro presentaran somnolencia excesiva, al menos dos días antes del estudio se corroboró que los participantes durmieran al menos 7 horas y esto se monitoreo a través de los diarios de dormir. Por medio de las escalas visuales analógicas, los participantes durante el registro de línea base

reportaron nada de somnolencia o poca somnolencia, por lo que de esta forma se puede confirmar que durante el registro los participantes no se encontraban con somnolencia diurna excesiva debido a un dormir corto en días previos. Solo un participante durmió menos de 7 horas los dos días previos al registro, sin embargo, en su escala visual analógica durante línea base también reportó poca somnolencia subjetiva, por lo que el hecho de que haya dormido menos puede deberse a diferencias individuales en la cantidad de tiempo necesaria de dormir ya que se ha observado que existen personas con un dormir corto de entre 5:30 a 6 horas (Hartmann, 1973).

En la somnolencia subjetiva después de la privación de sueño se registró un aumento lo cual concuerda con lo reportado por Corsi (2008) y Valdez (2015) que mencionaron que la privación de sueño provoca somnolencia en las personas, de manera más específica García et al. (2021) encontraron que la somnolencia subjetiva reportada por las personas aumenta con la privación de sueño.

El aumento en la somnolencia y el aumento en theta podría ser un indicador de una disminución en la ejecución. Esta relación entre el aumento en theta y la disminución en la ejecución con la privación del dormir se ha observado en varios estudios, por ejemplo, un incremento en theta se relacionó en el estudio de Cabrera (2008) con un aumento en los tiempos de reacción; en el estudio de Corsi, et al. (1996) se relacionó también con un aumento en los tiempos de reacción y un aumento en los errores de omisión; y en el estudio de Makeig et al. (2000) se relacionó con un aumento de errores. En el caso de este estudio, el aumento de theta se relacionó con un aumento en la variabilidad de las respuestas correctas y tiempos de reacción (estabilidad general de la eficiencia) y con un incremento en las

secuencias de errores (estabilidad a corto plazo) lo que significa una disminución en la atención sostenida.

Como se mencionó en el apartado de estructuras cerebrales relacionadas con la atención sostenida, el sistema reticular activador se puede activar de forma descendente a partir de intenciones del mismo individuo y se conforma por dos vías, la vía dorsal y la vía ventral. La corteza dorsal prefrontal envía señales colinérgicas y glutaminérgicas hacia el tálamo para después llegar hasta al mesencéfalo y el tallo cerebral (vía dorsal). De igual forma la corteza dorsal prefrontal envía señales hacia el hipotálamo, prosencéfalo basal (colinérgico) y medio (dopaminérgico) hasta llegar al mesencéfalo y el tallo cerebral (vía ventral) (Brown et al, 2012).

Li, et al. (2022) observaron que después de la privación de sueño, ocurre un decremento en la conectividad entre áreas dorsales prefrontales derechas de la corteza y aumentaron los lapsos de ejecución, estas áreas participan en la regulación de la atención sostenida por lo que es posible que el decremento en la ejecución de los participantes de este estudio se deba a estos cambios en la activación cortical.

Se requiere de un nivel óptimo de activación cerebral para que la información recibida se procese de manera adecuada y se ha observado que este nivel de activación requerido se relaciona con un aumento en beta (Garrido, 2006). Sin embargo, las señales provenientes del prosencéfalo basal para inducir el dormir inhiben el sistema activador, mientras que las señales enviadas desde la corteza dorsal prefrontal hacia el sistema reticular activador para sostener la atención (Luria, 1989) cuando las personas están privadas de sueño podrían no ser suficientes para mantener un nivel de activación cortical óptimo durante periodos prolongados debido a la misma presión de sueño. Esto cambiaría el nivel de activación cortical

observando un aumento en la potencia de theta y a su vez, una incapacidad en las personas para sostener la atención durante la privación de sueño, lo que podría provocar accidentes que causen lesiones graves y mortales.

Lo anterior se puede apoyar en estudios como el de Chisvert-Perales & Monteagudo-Soto (2001) en donde reportaron que los factores que producen más accidentes en carretera son la fatiga por causa de sueño (20%) y la falta de atención (28%). En el estudio de Lamond & Dawson (1999) observaron que aproximadamente de 20 a 25 h de vigilia prolongada producen una disminución en el rendimiento equivalentes a las observadas con una concentración de alcohol en sangre de 0,10%. Estos son niveles de intoxicación por alcohol considerados inaceptables al conducir, trabajar y/u operar equipos peligrosos ya que pueden ocurrir accidentes.

En otro estudio, querían observar el riesgo de conducir somnolientos en pacientes con síndrome de apnea obstructiva del sueño y encontraron que los conductores tuvieron un deterioro significativo en el control del vehículo en un simulador de conducción durante los episodios de microsueño (que se caracterizan por un aumento en theta) en comparación con el rendimiento de conducción en ausencia de microsueños. El grado de disminución del rendimiento se correlacionó con la duración del microsueño, por lo que concluyeron que el rendimiento al volante se deteriora durante los episodios de microsueño y esto puede ocasionar accidentes (Boyle, et al., 2008).

Aunque el estudio anterior se realizó en pacientes con somnolencia excesiva debido la apnea de sueño que padecen, esto puede ser igual para personas que presenten somnolencia debido a la privación de sueño. Esto se pudo observar con un estudio en donde aplicaron una tarea de vigilancia psicomotora a pacientes con

apnea y pacientes sanos con privación de sueño, y encontraron que si una persona se encuentra en privación de 24 horas sin dormir la cantidad de lapsos de ejecución (tiempos de reacción mayores a 500 ms) aumentaron desde el minuto 5 de la tarea. Si la privación de sueño aumenta hasta 48 horas, la persona presenta el mismo número de lapsos de ejecución a las que presenta una persona con apnea (Ogilive & Hatsh, 1994).

Otra posible explicación a la que han llegado algunos autores de que theta sea la única onda que se relacionó con una baja ejecución de la atención sostenida, podría deberse a que las personas se empiezan a quedar dormidas mientras se encuentran contestando la tarea, ya que en el proceso del inicio del dormir una característica es que exista un aumento en theta para así entrar a las primeras etapas de sueño (Ogilive & Hatsh, 1994). La teoría del estado de inestabilidad que propusieron Doran, Van Dongen y Dinges (2001), consiste en que mientras las personas se mantengan más tiempo en vigilia sus tiempos de reacción se vuelven más variables. En su estudio a medida que avanzaba la pérdida de sueño también aumentaba la variabilidad de su ejecución y esto lo relacionaron con la influencia del mecanismo del inicio del dormir en la capacidad endógena para mantener el estado de alerta. Lo anterior concuerda con lo encontrado en este estudio en donde los tiempos de reacción de las personas también fueron más variables. Sin embargo, en el caso de este estudio esa no podría ser la explicación, ya que para evitar la aparición del proceso del inicio de dormir y corroborar que el decremento en su ejecución sea durante la vigilia se tomó en cuenta para el análisis hasta un minuto antes de que los participantes dejaran de responder la tarea, por lo que de esta manera se corroboró que los participantes siempre se mantuvieron en vigilia.

Aunque Doran, Van Dongen y Dinges (2001) adjudicaron la variabilidad de los tiempos de reacción a la hipótesis del estado de inestabilidad la cual no concuerda con lo encontrado en este estudio, ellos encontraron que esta variabilidad se debe más a un proceso homeostático que al circadiano, ya que realizaron un experimento que consistió en dos grupos, uno con privación total de sueño durante 88 horas y otro con privación parcial a los que se les permitió tomar siestas de dos horas cada 12 horas durante las 88 horas del protocolo. En el grupo de privación total la variabilidad fue aumentando de manera muy notoria conforme llevaban más horas sin dormir, mientras que en el grupo de privación parcial la variabilidad no aumentó mucho durante las 88 horas. Debido a estos resultados se concluyó que la variabilidad de los tiempos de reacción se debió a la acumulación de horas sin dormir y este estudio agrega el hecho de que también la variabilidad de las respuestas correctas se ve afectada por el tiempo sin dormir. Para futuras investigaciones será interesante ver cuál es la influencia de los ritmos circadianos en los indicadores de atención sostenida y la actividad eléctrica cerebral para observar cómo cambian con la hora del día.

Otra hipótesis que podría explicar la relación de theta con el decremento en la ejecución es la de los microsueños. Los microsueños no se consideran como un dormir total, sino como una intrusión de sueño durante la vigilia y los han relacionado con lapsos de ejecución (tiempos de reacción más largos). En el estudio de Des Champs de Boishebert, et al. (2021) encontraron que la latencia de microsueños ocurría antes que la latencia del dormir, por lo que con esto llegaron a la conclusión de que los microsueños pueden ser mejores indicadores de somnolencia que la misma latencia del inicio del sueño. Como se mencionó anteriormente en este

estudio para descartar el proceso del inicio del dormir se analizó hasta un minuto antes de que las personas dejaran de responder la tarea, por lo que el aumento en theta podría deberse a estos microsueños que precedieron al inicio del dormir. Sin embargo, son necesarios más estudios para confirmar la posibilidad de que esta sea la razón de los resultados obtenidos en este trabajo, esto debido a la forma de analizar los lapsos y microsueños, ya que no se realizó un análisis visual de los registros de EEG para detectar microsueños.

VI. CONCLUSIONES

En este estudio se encontró que:

- Con privación de sueño hubo un incremento en la somnolencia subjetiva reportada por los participantes.
- La privación de sueño tuvo efectos sobre todos los indicadores de la atención sostenida. La cantidad de respuestas correctas disminuyeron a lo largo de la tarea (estabilidad en el tiempo). Las respuestas correctas y los tiempos de reacción fueron más variables (estabilidad general). Disminuyó la longitud de las secuencias de respuestas correctas, mientras que la longitud de secuencias de errores aumentó (estabilidad a corto plazo).
- Con privación de sueño se registró un aumento en la potencia de theta y una disminución en la potencia de beta rápido.
- En privación de sueño se encontraron correlaciones significativas entre dos indicadores de atención sostenida, estabilidad general de la eficiencia y estabilidad a corto plazo, y la actividad eléctrica cerebral de ondas theta. Esto indica que a mayor potencia de theta disminuye la atención sostenida estando en privación de sueño, específicamente aumenta la variabilidad de las respuestas correctas, la variabilidad de los tiempos de reacción y la longitud las secuencias de respuestas erróneas.

VI. REFERENCIAS

- Agudelo, H. A. M., Rodríguez, S. S., Vivanco, D., Aristizábal, N., Berrio, M. C., y Alpi, S. V. (2005). Factores culturales que privan de sueño y causan somnolencia excesiva en estudiantes universitarios: un estudio piloto. *Psicología y salud*, 15(1), 57-68.
<https://doi.org/10.25009/pys.v15i1.819>
- Baddeley, A. D., y Colquhoun, W. P. (1969). Signal probability and vigilance; A reappraisal of the "signal-rate" effect. *British Journal of Psychology*, 60(2), 169-178.
<https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1969.tb01189.x>
- Belyavin, A., y Wright, N. A. (1987). Changes in electrical activity of the brain with vigilance. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 66(2), 137-144.
[https://doi.org/10.1016/0013-4694\(87\)90183-0](https://doi.org/10.1016/0013-4694(87)90183-0)
- Borbély, A. A. (1982). A two-process model of sleep regulation. *Human Neurobiology*, 1, 195-204. Recuperado de:
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32314612/Borbely_AA_%281982%29_Human_Neurobiology_1__195-204.pdf?1384439479=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DHuman_Neurobiol_P982_1_195_204_Human_Neu.pdf&Expires=1684171114&Signature=CtbKFoEr~yrvdKhd20tqldk01dATVJB2ADLb1k9omMttL2V3laFmZa~i~vRr2FeRHGhxbRYbG5NU5p9P9jk65dkG81fuyL5sfafz7aT wYPIdV9YuqiRn83uaayMRaHlyJko~q34U-FmsyG12IYmi9iTgmeiXXWk1fhVjHIDGZNI1EJxAKhNiF2g~TyflwovzkMCBiz8DHfmoZtfH3I5za1YnLqf5yDKXFhddmoCT1F-8IVrpJozwy9K9X2kFJUhbNtmmExH0zf-

YwP3U~RFuV5w7EcM1DrANKEBJPiPAYOSiuEsauYQoAHkJDur95~soFSohxRh99R
aA-jMRtdpMsg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

- Borrani, J. B. (2011). *Análisis de los indicadores de la atención sostenida en delincuentes juveniles* (Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León).
<http://eprints.uanl.mx/2321/1/1080221581.pdf>
- Borrani, J., Chapa-Guerra, A., De-la-Garza, V., López, I., Isaías, A., Pimentel-Rodríguez, L., García, A., Ramírez, C., y Valdez, P. (2022). Changes during the sleep onset process on EEG activity and the components of attention. *Sleep Science*, 15 (Spec 2), 306.
10.5935/1984-0063.20210010
- Boyle, L. N., Tippin, J., Paul, A., y Rizzo, M. (2008). Driver performance in the moments surrounding a microsleep. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 11(2), 126-136. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2007.08.001>
- Broadbent, D. E. (1962). Attention and the perception of speech. *Scientific American*, 206(4), 143-153. <https://www.jstor.org/stable/24937294>
- Broadbent, D. E., y Gregory, M. (1965). Effects of noise and of signal rate upon vigilance analyzed by means of decision theory. *Human Factors*, 7(2), 155-162.
<https://doi.org/10.1177/001872086500700207> <https://doi.org/10.1177/001872086500700207>
- Brown, R. E., Basheer, R., McKenna, J. T., Strecker, R. E., & McCarley, R. W. (2012). Control of sleep and wakefulness. *Physiological reviews*.
<https://doi.org/10.1152/physrev.00032.2011>
- Buckley, R. J. (2013). *Sustained attention lapses and behavioural microsleeps during tracking, psychomotor vigilance, and dual tasks*. (Master thesis, University of Canterbury).

https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/8612/Thesis_fulltext.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cajochen, C., Brunner, D. P., Krauchi, K., Graw, P., y Wirz-Justice, A. (1995). Power density in theta/alpha frequencies of the waking EEG progressively increases during sustained wakefulness. *Sleep*, 18(10), 890-894.
<https://doi.org/10.1093/sleep/18.10.890>

Carlson, N. R., Bernal, I. M., Andreu, M. C., y Vázquez, S. S. (2014). *Fisiología de la conducta* (pp. 81-82). Madrid: Pearson Educación.

Carskadon, M.A., y Dement, W.C. (2011). Monitoring and staging human sleep. En M.H. Kryger, T. Roth, & W.C. Dement (Eds.), *Principles and practice of sleep medicine*, 5th edition, (pp 16-26). St. Louis: Elsevier Saunders. Recuperado de:
<http://apsychoserver.psychofizz.psych.arizona.edu/JJBAReprints/PSYC501A/Readings/Keenan%20Hirshkowitz%202011.pdf>

Castillo, I. J. (2019). *Efecto de la privación del sueño en el rendimiento cognitivo de las enfermeras que laboran en turnos rotativos*. (Trabajo académico, Universidad Privada Norbert Wiener). <https://hdl.handle.net/20.500.13053/3492>

Chisvert, M.J. y Monteagudo, M.J. (2001). Atención sostenida y conducción: Estudio sobre el impacto de los fallos atencionales en la accidentalidad en autopista. En D. Méndez; L. Ponte; L. Jiménez y M.J. Sampedro (Eds.): *La Atención (Vol. II). Un enfoque pluridisciplinar*, 381-392. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/profile/Mauricio-Chisvert-Perales/publication/328135315_Atencion_sostenida_y_conduccion_Estudio_sobre_el

_impacto_de_los_fallos_atencionales_en_la_accidentalidad_en_autopista/links/5bba7c01299bf1049b748bf4/Atencion-sostenida-y-conduccion-Estudio-sobre-el-impacto-de-los-fallos-atencionales-en-la-accidentalidad-en-autopista.pdf

Cluydts, R., De Valck, E., Verstraeten, E. y Theys, P. (2002). Daytime sleepiness and its evaluation. *Sleep Medicine Reviews*, 6(2), 83-96.

<https://doi.org/10.1053/smr.2002.0191>

Cohen, R. A. (2014). *The Neuropsychology of Attention*. Springer Science & Business Media.

Corsi, M. (2008). ¿Qué le pasa al cerebro cuando no duerme? *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, 8(S2), 53-56. Recuperado de:

https://www.uv.mx/RM/num_anteriores/revmedica_vol8_num1/Suplemento_2/Suplemento_2.pdf#page=50

Corsi, M., Arce, C., Ramos, J., Lorenzo, I., & Guevara, M. A. (1996). Time course of reaction time and EEG while performing a vigilance task during total sleep deprivation. *Sleep*, 19(7), 563-569. <https://doi.org/10.1093/sleep/19.7.563>

Corsi, M., Ramos, J., Arce, C., Guevara, M. A., Ponce-de Leon, M., & Lorenzo, I. (1992). Changes in the waking EEG as a consequence of sleep and sleep deprivation. *Sleep*, 15(6), 550-555. <https://doi.org/10.1093/sleep/15.6.550>

Curcio, G., Casagrande, M. y Bertini, M. (2001). Sleepiness: Evaluating and quantifying methods. *International Journal of Psychophysiology*, 41(3), 251– 263.

[https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(01\)00138-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(01)00138-6)

- De Gennaro, L., Ferrara, M., y Bertini, M. (2001). The boundary between wakefulness and sleep: quantitative electroencephalographic changes during the sleep onset period. *Neuroscience*, 107(1), 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0306-4522\(01\)00309-8](https://doi.org/10.1016/S0306-4522(01)00309-8)
- Des Champs de Boishebert, L., Pradat, P., Bastuji, H., Ricordeau, F., Gormand, F., Le Cam, P., Stauffer, E., Petitjean, T., y Peter-Derex, L. (2021). Microsleep versus sleep onset latency during maintenance wakefulness tests: which one is the best marker of sleepiness? *Clocks & Sleep*, 3(2), 259-273. <https://doi.org/10.3390/clockssleep3020016>
- Doran, S.M., Van Dongen H.P., y Dinges D.F. (2001). Sustained attention performance during sleep deprivation: Evidence of state instability. *Arch. Ital. Biol.* 139:253–267. <https://doi.org/10.4449/aib.v139i3.503>
- Durmer, J., y Dinges D. (2005). Neurocognitive consequences of sleep deprivation. *Seminars in Neurology*, 25(1), 117-129. 10.1055/s-2005-867080
- Escobar, F., Cortés, M. F., Canal, J. S., Colmenares, L. A., Becerra, H. A., y Caro, C. C. (2008). Somnolencia diurna excesiva en estudiantes de tercer semestre de medicina de la Universidad Nacional de Colombia. *Revista de la Facultad de Medicina*, 56(3), 235-244. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfmun/v56n3/v56n3a05.pdf>
- Esterman, M., Noonan, S. K., Rosenberg, M., & DeGutis, J. (2013). In the zone or zoning out? Tracking behavioral and neural fluctuations during sustained attention. *Cerebral cortex*, 23(11), 2712-2723. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs261>
- Francisco-Vicencio, M. A., Góngora-Rivera, F., Ortiz-Jiménez, X., y Martínez-Peon, D. (2022). Sustained attention variation monitoring through EEG effective connectivity. *Biomedical Signal Processing and Control*, 76, 103650. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2022.103650>

- García, I. (2007). Estudios diagnósticos en patología del sueño. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 30(Supl. 1), 37-51. Recuperado en 22 de marzo de 2023, de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S113766272007000200004&lng=es&tlng=es.
- García, A., Del Angel, J., Borrani, J., Ramírez, C., y 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. 10.5935/1984-0063.20200049
- Garrido, A. A. G. (2006). *La atención y sus alteraciones: del cerebro a la conducta*. Unam.
- Gómez, D. G. (2001). Análisis Espectral: consideraciones teóricas y aplicabilidad. *Economía y Sociedad*, 6(16), 45-60. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/economia/article/view/1244>
- Gross, J. (2014). Analytical methods and experimental approaches for electrophysiological studies of brain oscillations. *Journal of Neuroscience Methods*, 228, 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2014.03.007>
- Hamui-Sutton, L., Barragán-Pérez, V., Monsalvo-Obregón, E. C., Fouilloux-Morales, C., y Fuentes-García, R. (2013). Efectos de la privación de sueño en las habilidades cognitivas, psicomotoras y su relación con las características personales de los médicos residentes. *Cirugía y cirujanos*, 81(4), 317-327. <https://www.redalyc.org/pdf/662/66228318009.pdf>
- Harmony, T., Fernández, T., Silva, J., Bernal, J., Díaz-Comas, L., Reyes, A.,... & Rodríguez, M. (1996). EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International journal of psychophysiology*, 24(1-2), 161-171. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(96\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(96)00053-0)

- Hartmann, E. (1973). Sleep requirement: Long sleepers, short sleepers, variable sleepers, and insomniacs. *Psychosomatics: Journal of Consultation and Liaison Psychiatry*, 14(2), 95–103. [https://doi.org/10.1016/S0033-3182\(73\)71362-1](https://doi.org/10.1016/S0033-3182(73)71362-1)
- Hazemann, P., y Masson, M. (1982). *ABC de electroencefalografía*. Masson.
- Homskaya, E.D. (1973). The human frontal lobes and their role in the organization of activity. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 33 (2), 509-522. Recuperado de: <https://www.ane.pl/pdf/3346.pdf>
- Idzikowski, C. (1984). Sleep and memory. *British Journal of Psychology*, 75(4), 439-449. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1984.tb01914.x>
- Imirizaldu, J. J. Z. (Ed.). (2018). *Neurología*. Quinta Edición. Elsevier Health Sciences.
- International Labour Organization (2021). *Statistics on working time*. <https://ilostat.ilo.org/topics/working-time/>
- Iñiguez, C. G., Montañés, M. C., y Vayá, E. C. (2000). Análisis experimental de la capacidad de vigilancia: Efecto de la privación parcial de sueño y dificultad de la tarea. *Anales de Psicología/Annals of Psychology*, 16(1), 49-59. Recuperado de <https://revistas.um.es/analesps/article/view/29611>
- James, W. (2007). *The principles of psychology* (Vol. 1). Cosimo, Inc.
- Jerison, H. J., y Wallis, R. A. (1957), Performance on a simple vigilance task in noise and quiet. *Journal of the Acoustical Society of America*, 29, 1163-1165. <https://doi.org/10.1121/1.1908729>
- Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: The Epworth sleepiness scale. *Sleep*, 14(6), 540-545. <https://doi.org/10.1093/sleep/14.6.540>
- Krahn, L. E., Arand, D. L., Avidan, A. Y., Davila, D. G., DeBassio, W. A., Ruoff, C. M., y Harrod, C. G. (2021). Recommended protocols for the multiple sleep latency test and

maintenance of wakefulness test in adults: guidance from the American Academy of Sleep Medicine. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 17(12), 2489-2498.
<https://doi.org/10.5664/jcsm.9620>

Krone, L., Frase, L., Piosczyk, H., Selhausen, P., Zittel, S., Jahn, F.,... & Nissen, C. (2017). Top-down control of arousal and sleep: Fundamentals and clinical implications. *Sleep medicine reviews*, 31, 17-24. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2015.12.005>

Lamond, N., y Dawson, D. (1999). Quantifying the performance impairment associated with fatigue. *Journal of sleep research*, 8(4), 255-262. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.1999.00167.x>

Li, J., Zhou, Y., Zhang, X., Wang, Q., y Zhang, L. (2022). Effects of total sleep deprivation on execution lapses during vigilance tasks. *Chronobiology international*, 39(12), 1624-1639. <https://doi.org/10.1080/07420528.2022.2139185>

Lim, J., y Dinges, D. F. (2008). Sleep deprivation and vigilant attention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1129(1), 305-322.
<https://doi.org/10.1196/annals.1417.002>

Londoño, L. (2009). La atención: un proceso psicológico básico/Attention as a basic psychological process. *Pensando psicología*, 5(8), 91-100. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/11201/150730>

Luria, A. R. (1989). *El cerebro en acción*. Fontanella.

Mackworth, N. H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1(1), 6-21.
<https://doi.org/10.1080/17470214808416738>

Magoun, H. W. (1950). Caudal and cephalic influences of the brain stem reticular formation. *Physiological reviews*, 30(4), 459-474. <https://doi.org/10.1152/physrev.1950.30.4.459>

- Makeig, S., y Jung, T. P. (1995). Changes in alertness are a principal component of variance in the EEG spectrum. *NeuroReport-International Journal for Rapid Communications of Research in Neuroscience*, 7(1), 213-216. Recuperado en <https://sccn.ucsd.edu/~scott/pca95.html>
- Makeig, S., Jung, T. P., y Sejnowski, T. J. (2000). Awareness during drowsiness: dynamics and electrophysiological correlates. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 54(4), 266. <https://doi.org/10.1037/h0087346>
- Molenberghs, P., Gillebert, C. R., Schoofs, H., Dupont, P., Peeters, R., & Vandenberghe, R. (2009). Lesion neuroanatomy of the Sustained Attention to Response task. *Neuropsychologia*, 47(13), 2866-2875. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.06.012>
- Molteni, E., Bianchi, A., Butti, M., Reni, G., y Zucca, C. (2007). Analysis of the dynamical behaviour of the EEG rhythms during a test of sustained attention. *2007 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 1298-1301). 10.1109/IEMBS.2007.4352535.
- Morillo, L. E. (2000). Insomnio en neurología. *Guía neurológica*, 174-187. Recuperado en <https://vivamente.com.co/wp-content/uploads/2018/03/INSOMNIO-ASOCIACION-COLOMBIANA-DE-NEUROLOGIA.pdf>
- Morillo, L. E. (2008). Análisis visual del electroencefalograma. En R. Gómez, B. Hernández, U. Rojas, O. Santacruz, & R. Uribe., *Psiquiatría Clínica: diagnóstico en niños, adolescentes y adultos*. 3ra. edición (pág. Cap. 17): Editorial médica Panamericana. http://acnweb.com/pub/guía_7.htm

- Moruzzi, G., y Magoun, H. W. (1949). Brainstem reticular formation and activation of the EEG. *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, 1(1-4), 455-473. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(49\)90219-9](https://doi.org/10.1016/0013-4694(49)90219-9)
- Ogilvie, R. D., y Harsh, J. R. (1994). *Sleep onset: Normal and abnormal processes*. American Psychological Association.
- Osorio, L. E. (2021). *Impacto de la privación de sueño en la potencia espectral del electroencefalograma de la rata*. (Tesis de maestría, Universidad de la Republica) <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/30037/1/uy24-20099.pdf>
- Posner, M. I., y Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological review*, 78(5), 391. <https://doi.org/10.1037/h0031333>
- Posner, M. I., y Rafal, R. D. (1987). Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. *Neuropsychological rehabilitation*, 182–201. The Guilford Press.
- Priestley, M. B. (1981). *Spectral analysis and time series: Univariate series (Vol. 1)*. Academic press, London.
- Ray W.J., y Cole H.W., (1985). EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes. *Science*. 228(4700):750-2. <https://doi.org/10.1126/science.3992243>
- Rechtschaffen A, Kales A., (1968). *A manual of standardized terminology, technique and scoring system for sleep stages of human subjects*. Washington: United States Government Printing Office.
- Riccio, C. A., Reynolds, C. R., Lowe, P., y Moore, J. J. (2002). The continuous performance test: a window on the neural substrates for attention? *Archives of clinical neuropsychology*, 17(3), 235-272. <https://doi.org/10.1093/arclin/17.3.235>

- Ríos-Flórez, J. A., López-Gutiérrez, C. R., y Escudero-Corrales, C. (2019). Cronobiología del sueño y su influencia en la función cerebral. *Cuadernos de Neuropsicología/Panamerican Journal of Neuropsychology*, 13(1). 10.7714/CNPS/13.1.201
- Ríos-Lago, M., Muñoz-Céspedes, J. M., & Paúl-Lapedriza, N. (2007). Alteraciones de la atención tras daño cerebral traumático: evaluación y rehabilitación. *Rev Neurol*, 44(5), 291-7. <https://doi.org/10.33588/rn.4405.2006208>
- Rodrigues, R., Viegas, C., Abreu e Silva, A., y Tavares, P. (2002). Daytime sleepiness and academic performance in medical students. *ArquiNeuropsiquiatr*, 60(1), 6-11. <https://doi.org/10.1590/S0004-282X2002000100002>
- Roehrs T, Carskadon MA, Dement WC, Roth T. (2005). Daytime Sleepiness and alertness. En MH Kryger, T Roth, WC Dement (Eds). *Principles and Practice of Sleep Medicine, 4th edition*, (pp 39-49). Elsevier Saunders. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=3B52V4PnrVkc&oi=fnd&pg=PP1&dq=Principles+and+Practice+of+Sleep+Medicine&ots=PSleUtZkZJ&sig=5lGSxugg9oPkMMpt8Cp1CPbeW0l&redir_esc=y#v=onepage&q=Principles%20and%20Practice%20of%20Sleep%20Medicine&f=false
- Rosvold, H. E., Mirsky, A. F., Sarason, I., Bransome Jr, E. D., y Beck, L. H. (1956). A continuous performance test of brain damage. *Journal of consulting psychology*, 20(5), 343-350. <https://doi.org/10.1037/h0043220>
- Rueckert, L., & Grafman, J. (1996). Sustained attention deficits in patients with right frontal lesions. *Neuropsychologia*, 34(10), 953-963. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(96\)00016-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(96)00016-4)

Senado de la república (2010). *Iniciativa de reformas y adiciones a la ley federal del trabajo*.

https://www.senado.gob.mx/64/gaceta_del_senado/documento/15084

Sierra, J. C., Villegas, G. L., Guardiola, A. F., y Casal, G. B. (1993). Evaluación de la activación y de la vigilancia. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 25(3), 433-452.

Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/805/80525306.pdf>

Spriggs, W. (2009). *Essentials of polysomnography*. Jones & Bartlett Publishers.

Strijkstra, A. M., Beersma, D. G., Drayer, B., Halbesma, N., y Daan, S. (2003). Subjective sleepiness correlates negatively with global alpha (8–12 Hz) and positively with central frontal theta (4–8 Hz) frequencies in the human resting awake electroencephalogram. *Neuroscience letters*, 340(1), 17-20.

[https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(03\)00033-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(03)00033-8)

Stuss, D. T., y Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological research*, 63(3), 289-298.

<https://doi.org/10.1007/s004269900007>

Stuss, D.T. y Benson, D.F. (1984). Neuropsychological studies of the frontal lobes. *Psychological Bulletin*, 95 (1), 3-28. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.95.1.3>

Teplan, M. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement science review*, 2(2),

1-11.

Recuperado

de:

<http://www.edumed.org.br/cursos/neurociencia/MethodsEEGMeasurement.pdf>

Valdez, P., Ramírez C., García, A., Ortiz, X., Talamantes, J., Cortez, J., y Juárez, D. (2015)

Cronobiología: respuestas psicofisiológicas al tiempo. Trillas.

Valdez, P., Ramírez, C., García, A., Talamantes, J., Armijo, P., y 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., García, A., Talamantes, J., y Cortez, J. (2010). Circadian and homeostatic variation in sustained attention. *Chronobiology international*, 27(2), 393-416. <https://doi.org/10.3109/07420521003765861>
- Van Dongen, H. P. A., Maislin, G., Mullington, J. M., y 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(2), 117-126. <https://doi.org/10.1093/sleep/26.2.117>
- Wilkinson, R.T., Edwards, R.S., y Haines, E. (1966). Performance following a night of reduced sleep. *Psychonomic Science*, 5(12), 471-472. <https://doi.org/10.3758/BF03328474>
- Williams, H.L., Lubin, A., y Goodnow, J.J. (1959). Impaired performance with acute sleep loss. *Psychological Monographs: General and Applied*, 73(14), 1-26. <https://doi.org/10.1037/h0093749>

ANEXOS

Anexo 1. Carta de consentimiento informado.

Monterrey, N.L. a: _____ de _____ del _____

Por medio de la presente hago constar que estoy enterado (a) de los objetivos que persigue la investigación: **“EFECTOS DE LA PRIVACIÓN DE SUEÑO EN LA ATENCIÓN SOSTENIDA Y LA ACTIVIDAD ELÉCTRICA CEREBRAL”**, así como en la forma en que se llevarán a cabo.

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

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

Nombre del colaborador (a)

Firma del colaborador (a)

Anexo 2. Cuestionario de datos generales del estudiante.

Lugar y Fecha: _____

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

Sexo: __ Masculino __ Femenino __ Diestro __ Zurdo __ Ambidiestro __ Estatura: ____ Peso: ____ kg

Escolaridad (años completos cursados): Kinder: ____ Primaria: ____ Secundaria: ____ Preparatoria: ____

Profesional: ____

Grado escolar actual: _____ Turno _____ Grupo _____

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

¿Ha tenido enfermedades graves? Si: ____ No: ____ ¿Cuáles? Edad: ____ Enfermedad: _____

Edad: ____ Enfermedad: _____ Edad: ____ Enfermedad: _____

¿Ha tenido accidentes graves? Si: ____ No: ____ ¿Cuáles? Edad: ____ Accidente: _____

Edad: ____ Accidente: _____ Edad: ____ Accidente: _____

¿Ha perdido la conciencia (desmayo) por más de 30 minutos? Si: ____ No: ____ Edad: ____

¿Ha estado hospitalizado? Si: ____ No: ____ Edad: ____ ¿Por cuánto tiempo?: _____

Motivo: _____

¿Ha tomado medicamentos por un período prolongado (meses)? Si: ____ No: ____ ¿Cuáles?

Edad: ____ Medicamento: _____ Número de meses: _____

Edad: ____ Medicamento: _____ Número de meses: _____

¿Ha consumido alguna droga? Si: __ No: __ Desde qué edad: _ Las consume actualmente Si: __ No: __

Especifique cuál o cuáles: _____

¿Ha tenido o tiene algún trastorno en el desarrollo (déficit de atención, trastorno de aprendizaje)?

Sí ____ No ____

Edad: ____ Trastorno: _____ Edad: ____ Trastorno: _____

Horario de clases

Día	Entrada	Salida	Día	Entrada	Salida
Lunes			Jueves		
Martes			Viernes		
Miércoles			Sábado		

¿Cuánto tiempo tarda en prepararse (arreglo personal) para salir a la escuela? _____ minutos

¿Cuánto tiempo tarda en trasladarse de su casa a la escuela?: _____ minutos

Si usted es foráneo (a) conteste las siguientes preguntas

Ciudad, estado y país de origen: _____

¿Con qué frecuencia regresa a su ciudad de origen? _____

¿Cuándo fue la última vez que regresó? _____

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: _____

Si en los últimos 6 meses ha viajado a un lugar donde tuvo que cambiar la hora del reloj, especifique:

Lugar (estado y país): _____

Fecha de ida: _____ Fecha de regreso: _____

Si usted es mujer, conteste las siguientes preguntas

¿Su ciclo menstrual es regular (inicia cada 20-32 días aproximadamente)? Si: ___ No: ___

¿Cuándo fue el inicio de su último ciclo menstrual?: Día: _____ Mes: _____

¿Cuándo fue el inicio de su penúltimo ciclo menstrual?: Día: _____ Mes: _____

Datos para contactarlo

Escuela: _____ Semestre: _____ Grupo: _____

Turno: _____ Teléfono de casa: _____ Tel. Celular: _____

E-mail: _____

Anexo 3. Cuestionario de trastornos del dormir

Lea cuidadosamente los problemas del dormir que se mencionan abajo y señale cuál de ellos presenta actualmente usted. Cuando marque **SI**, indique 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 4. Diario del dormir.

Nombre: _____ Fecha: _____

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
Especifique en minutos: _____

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? N Sí ¿Cuál
o ? _____

¿Por cuánto tiempo? Especifique en minutos: _____

¿Fue el día de hoy a la escuela? N 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 quedó 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 5. Escala de somnolencia diurna de Epworth.

Nombre: _____ Fecha: _____

Instrucciones:

1. Señala que tan probable es que dormites o te quedes dormido en las situaciones que se mencionan en la tabla, no incluyas cuando te sientes solamente cansado.
2. Contesta de acuerdo a tu vida cotidiana reciente.
3. Si no realizaste algunas de estas actividades, trata de responder como si te hubieran ocurrido.
4. Elige la probabilidad *más apropiada* para cada situación, usando la escala que se presenta a continuación:

	Situación	Probabilidad de dormir			
		No dormiría	Poca probabilidad de dormir	Moderada probabilidad de dormir	Alta probabilidad de dormir
1	Sentado y leyendo				
2	Viendo Televisión				
3	Sentado, inactivo en un lugar público (teatro, conferencia)				
4	Siendo acompañante en un carro por una hora sin parar				
5	Recostado descansando en la tarde, cuando las circunstancias lo permiten				
6	Sentado y platicando con alguien				
7	Sentado en silencio después de comer sin haber ingerido alcohol				
8	En un carro, mientras que se detiene por pocos minutos en el tráfico (semáforo)				

Gracias por su cooperación

Anexo 6. Escala visual analógica de somnolencia.

SOMNOLENCIA

Nombre: _____

Marque 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.....