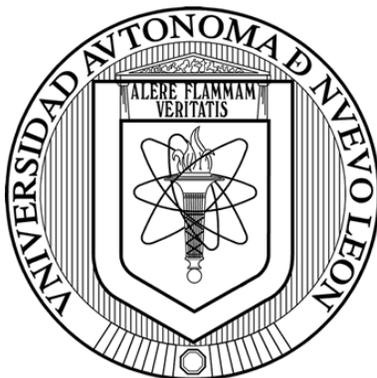


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE PSICOLOGÍA
SUBDIRECCION DE POSGRADO



“Variaciones circadianas y homeostáticas en el límite atencional”

TESIS

**Que para obtener el grado de
Doctor en Filosofía con Orientación en Psicología**

**Presenta:
Carlos Alberto Gallegos Ortiz**

Monterrey, N. L., México, septiembre de 2021

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE PSICOLOGIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

DOCTORADO EN FILOSOFIA CON ORIENTACION EN PSICOLOGIA

La presente tesis titulada “Variaciones circadianas y homeostáticas en el límite atencional” presentada por Carlos Alberto Gallegos Ortiz ha sido aprobada por el comité de tesis.

Dr. Pablo Valdez Ramírez

Director de tesis

Dra. Carolina Virginia Macêdo de Azevedo

Co-Directora de tesis

Dra. Ma Candelaria Ramírez Tule

Dra. Minerva Aída García García

Dr. Jorge Benjamín Borrani Valdés

Revisores de tesis

Monterrey, N. L., México, septiembre de 2021

Dedicatoria

*A mis padres Maricela y Martín,
a mis hermanos José Luis, Fabiola y Montserrat
a Mariel, mi esposa,
y a la memoria de Diega María Cruz Gallegos.*

Agradecimientos

- A los participantes del estudio, por su interés en la investigación y por su compromiso para cumplir con todos los requerimientos del protocolo.
- A los colaboradores del Laboratorio de Psicofisiología por su apoyo durante este y tantos experimentos. Especialmente a mi equipo de trabajo: Gerardo Moreno, Daniela Meza, Najla Ruiz, Joel Galván, Fátima Rodríguez, Carlos Santamaría, Néstor Martínez, y todas las personas que formaron parte de él en estos años.
- A mi director de tesis, el Dr. Pablo Valdez, por siempre tener una gran disposición para enseñar, y especialmente por todas las sugerencias y consejos para hacer este proceso de la mejor forma posible. Gracias por la enseñanza.
- A mi codirectora de tesis, la Dra. Carolina Acevedo, de la Universidad Federal de Rio Grande del Norte, por su valiosa contribución en la mejora del manuscrito.
- A mis revisores, la Dra. Candelaria Ramírez, la Dra. Aída García y el Dr. Jorge Borrani por siempre contribuir en este estudio con la mejor actitud, desde la planeación del proyecto y los registros, hasta la revisión del texto.
- A mi familia, por todo su apoyo, soporte y sobre todo por inspirarme a seguir siempre adelante.
- A aquellos amigos que han contribuido de forma directa o indirecta con este proceso. En especial a Pablo Grimaldo, Jonnathan Ruiz y Karim Cardiel.
- Al coordinador del doctorado, el Dr. Víctor Padilla Montemayor y su esposa la Dra. Ma. Concepción Rodríguez Nieto por su apoyo durante toda mi estancia en posgrado.
- Al director de la Facultad de Psicología, el Dr. Álvaro Aguillón Ramírez.

RESUMEN

El desempeño de muchas actividades depende de la hora del día (factor circadiano) y de la cantidad de horas sin dormir (factor homeostático). Se ha propuesto que tales cambios se relacionan con variaciones circadianas en variables fisiológicas como la temperatura corporal y procesos cognoscitivos como la atención. Anteriormente, se han estudiado las variaciones homeostáticas y circadianas en los límites de la atención a través del parpadeo atencional (PA). El PA consiste en una falla para responder a un segundo evento (E2) presentado en un intervalo entre 200-500 ms después de un primer evento (E1). Durante el día, se ha reportado un PA típico, con una eficiencia baja para responder al E2 presentado en intervalos de 200-500 ms, y una eficiencia alta en los intervalos de 600-800 ms. Los niveles más altos de eficiencia ocurren en un horario similar al nivel más alto de temperatura corporal. Sin embargo, durante la noche y con el incremento en las horas sin dormir, la eficiencia para responder al E2 disminuye al mismo nivel en cualquier intervalo (100-800 ms), por lo que no se conoce si los efectos homeostático y circadiano producen una prolongación del intervalo de PA, o si ocasionan una reducción general en la capacidad para responder al E2 e incluso E1. Por otro lado, las respuestas al E2 a los 100 ms presentan un alto porcentaje de respuestas invertidas, que se mantienen constantes a pesar de las horas en vigilia y la hora del día. Este parámetro se ha asociado con otro proceso cognoscitivo, la memoria icónica, un breve almacén sensorial que registra información por un intervalo menor a un segundo. El objetivo del presente estudio es identificar variaciones homeostáticas y circadianas en el límite atencional evaluando ambos efectos: el PA y la memoria icónica. La hipótesis de este estudio fue que tanto en el indicador relacionado con el PA como el relacionado con la memoria icónica presentarían variaciones homeostáticas y circadianas relacionadas con las variaciones en el metabolismo cuyo indicador en este estudio es la temperatura rectal. Catorce participantes (8 mujeres, 4 hombres, edad promedio: 19.27 años) fueron registrados en un protocolo de rutina constante de 29 horas sin dormir en los que se mantuvieron constantes variables como la iluminación, la temperatura ambiental, la postura corporal y la ingestión de alimentos. Cada dos horas, los participantes respondieron dos tareas: la Presentación Visual Serial Rápida (PVSR), que evaluó el PA y la Tarea de Memoria Icónica (TMI). Se encontraron variaciones homeostáticas y circadianas en la mayoría de los parámetros del límite atencional en las tareas de PVSR y TMI con una alta eficiencia para responder en los primeros registros, con pocas horas sin dormir. El nivel más alto de eficiencia ocurrió cerca de las 18:00 h, mientras que se observó una menor capacidad durante la noche y las primeras horas de la mañana (04:00-08:00 h), luego del incremento de horas sin dormir. El nivel más alto de eficiencia en ambas tareas ocurrió en un horario similar al nivel más alto de temperatura rectal. No obstante, un indicador de la tarea PVSR solo presentó variaciones por el tiempo en vigilia, mientras que un indicador de la TMI no presentó variaciones homeostáticas ni circadianas. Por lo tanto, es posible que algunos procesos cognoscitivos sean menos sensibles a estas variaciones. Conocer cómo cambian los diversos procesos cognoscitivos durante el día o con la privación de sueño permite identificar los momentos óptimos para desempeñar actividades, lo cual es relevante para prevenir errores, accidentes y lesiones, en actividades que requieren al límite la capacidad atencional, sobre todo en jornadas laborales nocturnas o extendidas.

Palabras claves: privación de sueño, ritmos circadianos, límite atencional, parpadeo atencional, memoria icónica.

ABSTRACT

Performance of many activities depends on time of day (circadian factor) and the amount of time with no sleep (homeostatic factor). It has been proposed that these changes are related to circadian variations in physiological variables as body temperature, and cognitive processes as attention. Variations in the limits of attention has been previously studied through the attentional blink (AB). The AB is a difficulty to processing a second target (T2) when it is presented with an interval of 200-500 ms from a first target (T1). During daytime, a typical AB has been observed, with a low accuracy to respond to T2 when it is presented at 200-500 ms, and a high accuracy at 600-800 ms intervals. The higher accuracy levels occur at a similar hour than the highest levels of body temperature. Nonetheless, during the night and with the time awake, accuracy to respond to T2 is reduced to a similar level at any interval (100-800 ms), thus it is not known whether the homeostatic and circadian effects produce a prolongation of the AB interval, or if they cause a general reduction in the capacity to respond to T2 and even T1. On the other hand, responses to T2 at 100 ms have been reported to show a high percentage of order reversals, that remained constant despite the time awake and the time of day. This parameter has been associated with another cognitive process, the iconic memory, a brief sensory store that record information for an interval shorter than one second. The aim of the present work is to identify homeostatic and circadian variations in the limits of attention through the assessment of both phenomena: the AB and iconic memory. The hypothesis was that the indicator related to the AB and the one related to iconic memory would show homeostatic and circadian variations related to the variations in the metabolism, that is represented by the rectal temperature. Fourteen participants (8 female, 4 male, average age: 19.27) were recorded in a constant routine protocol of 29 hours with no sleep in which some variables as light exposure, room temperature, body posture, and food intake remained constant. Rectal temperature was recorded each hour as an indicator of the circadian system. In addition, every two hours, participants responded two tasks: The Rapid Serial Visual Presentation (RSVP) task, that assessed the AB, and the Iconic Memory Task (IMT). Homeostatic and circadian variations were found in the indicators of the limit of attention in the RSVP and IMT tasks, with a higher capacity to respond near 18:00 h and a lowest level during the night and early in the morning (04:00-08:00 h), after the increase in time with no sleep. These variations occurred at a similar hour than the greater level of rectal temperature. However, one parameter of the RSVP only showed variations with time awake, and one indicator of the IMT did not show homeostatic or circadian variations. Therefore, it is possible that some cognitive processes are less sensitive to these variations. Understanding of how cognitive processes change during the day or with sleep deprivation allows to identify the optimal moments to perform different activities, which is relevant to prevent errors, accidents and injuries in activities that require attention to the limit, especially for those people working in night or extended shifts.

Keywords: sleep deprivation, circadian rhythms, attentional limit, attentional blink, iconic memory

INDICE

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN | 1 |
| Planteamiento del problema | 9 |
| Justificación de la investigación | 10 |
| Objetivo general | 11 |
| Objetivos específicos | 12 |
| Hipótesis | 13 |
| CAPÍTULO II. <i>MARCO TEÓRICO</i> | 15 |
| I. VARIACIONES CIRCADIANAS Y HOMEOSTÁTICAS..... | 15 |
| Antecedentes | 15 |
| Tipos de ritmos biológicos | 20 |
| Formas de representar los ritmos biológicos | 21 |
| Métodos de registro de los ritmos circadianos | 23 |
| El sistema temporal circadiano | 24 |
| Variaciones homeostáticas y circadianas en la ejecución..... | 28 |
| Variaciones homeostáticas y circadianas en los procesos cognoscitivos | 29 |
| II. EL LÍMITE ATENCIONAL | 34 |
| Atención | 34 |
| Parpadeo Atencional..... | 38 |
| Alteraciones en el PA..... | 44 |
| Memoria | 47 |
| Memoria icónica | 48 |
| Alteraciones en la memoria icónica | 53 |
| Variaciones homeostáticas y circadianas en el límite atencional | 54 |
| CAPÍTULO III. <i>MÉTODO</i> | 60 |
| Participantes | 60 |
| Aparatos e instrumentos | 61 |
| Tareas..... | 64 |
| Materiales | 69 |
| Procedimiento | 71 |
| Análisis de datos | 75 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| CAPÍTULO IV. <i>RESULTADOS</i> | 79 |
| CAPÍTULO V. <i>DISCUSIÓN</i> | 103 |
| Conclusiones | 121 |
| Referencias | 123 |
| Apéndices..... | 138 |

Índice de Figuras

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Clasificación de los ritmos biológicos de acuerdo con su frecuencia | 20 |
| Figura 2. Características de una onda sinusoidal..... | 22 |
| Figura 3. Circuito del sistema temporal circadiano | 25 |
| Figura 4. Tarea de PVSR utilizada por Raymond et al. (1992)..... | 39 |
| Figura 5. Función típica del parpadeo atencional..... | 39 |
| Figura 6. Tarea de memoria icónica de reporte parcial | 50 |
| Figura 7. Tarea de PVSR utilizada en este experimento | 66 |
| Figura 8. Sucesión temporal en una secuencia de la tarea de PVSR | 66 |
| Figura 9. Tarea TMI utilizada en este experimento | 68 |
| Figura 10. Protocolo de rutina constante..... | 73 |
| Figura 11. Condiciones de registro en la tarea de PVSR | 74 |
| Figura 12. Condiciones de registro en la tarea TMI..... | 74 |
| Figura 13. Temperatura rectal de los 14 participantes con registro..... | 82 |
| Figura 14. Somnolencia y cansancio promedio de los participantes | 84 |
| Figura 15. Eficiencia en la tarea de PVSR por registro | 92 |
| Figura 16. Eficiencia en la tarea de PVSR comparada con los datos de temperatura | 93 |
| Figura 17. Promedio de respuestas invertidas por hora | 95 |
| Figura 18. Eficiencia en la TMI por hora..... | 100 |
| Figura 19. Eficiencia en la TMI comparada con los datos de temperatura | 101 |

Índice de Tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Datos generales de los participantes | 80 |
| Tabla 2. Promedios de horas de inicio, término y duración del dormir de los participantes | 80 |
| Tabla 3. Acrofases de la temperatura rectal obtenida por el análisis Cosinor. | 81 |
| Tabla 4. Análisis estadístico de la temperatura rectal, la somnolencia, el cansancio y las respuestas a las tareas de PVSR y TMI | 102 |

CAPÍTULO I.- INTRODUCCIÓN

Los movimientos de rotación y traslación de la tierra producen los ciclos de iluminación y temperatura ambiental, que se observan en el día y la noche, y las estaciones del año respectivamente. Los seres vivos han logrado adaptarse a estos cambios ambientales generando respuestas conocidas como *ritmos biológicos*, las cuales les permiten medir el tiempo y responder de forma anticipada a dichos cambios. Algunos ejemplos de estas respuestas son la hibernación, la migración, el ciclo menstrual y el ciclo de vigilia-sueño (Golombek, 2007; Moore-Ede et al., 1982; Valdez, 2015).

Los ritmos biológicos más estudiados son los denominados *ritmos circadianos*, que se repiten aproximadamente cada día. El término “circadiano” proviene del latín *circa* (cerca) y *dies* (día), que significa “cercano a un día” (Halberg, 1969). En los mamíferos, el sistema fisiológico que produce estas respuestas es conocido como sistema temporal circadiano, y se compone de un oscilador central, localizado en el núcleo supraquiasmático del hipotálamo (NSQ) y osciladores periféricos en los tejidos de distintos órganos como el hígado, el páncreas, los riñones y el corazón (Dibner et al., 2010; Golombek y Rosenstein, 2010; Honma, 2018; Lowrey y Takashi, 2004).

Existe una amplia evidencia de ritmos circadianos en muchas funciones del ser humano como: la temperatura corporal, la secreción de la mayoría de las hormonas, la expresión de genes, la actividad de órganos como los pulmones, el corazón y el cerebro, así como en el ciclo de vigilia-sueño (Cajochen et al., 1999; Dibner; et al., 2010; Moore-Ede et al., 1982; Palmer, 1976). Asimismo, se han documentado

variaciones circadianas en variables conductuales como la somnolencia y la ejecución de pruebas cognoscitivas, que se relacionan con las variaciones circadianas de la actividad cerebral (Blatter y Cajochen, 2007; Cajochen et al., 1999; Schmidt et al., 2007).

Diversas teorías han sido postuladas para explicar estas variaciones en la ejecución y los procesos cognoscitivos (Carrier y Monk, 2000; Goel et al., 2013; Valdez, 2019b). Una primera teoría plantea que las variaciones circadianas en la temperatura corporal, el metabolismo y la actividad cerebral producen las variaciones circadianas en la ejecución (Kleitman y Jackson, 1950). Otra teoría consiste en el modelo de dos procesos que regulan el sueño (Borbély, 1982; Borbély et al., 2016; Daan et al., 1984), el cual también ha sido utilizado para explicar la modulación del estado de alerta y los procesos cognoscitivos (Borbély et al., 2016; Carrier y Monk, 2000).

El modelo de dos procesos incluye el proceso circadiano descrito por Kleitman (proceso C), que regula la necesidad de dormir en función de la hora del día, y se manifiesta en una mayor necesidad de dormir durante la noche que en el día. Además, este modelo incluye un proceso homeostático (proceso S), que modula la necesidad de dormir de acuerdo con la cantidad de horas en vigilia, es decir, entre más tiempo permanezca despierta una persona, mayor necesidad de dormir tendrá (Borbély, 1982; Borbély et al., 2016; Daan et al., 1984).

Finalmente, otras teorías han propuesto la existencia de un tercer factor que puede influir en las variaciones circadianas en la ejecución, por ejemplo, la inercia de sueño, una disminución de la alerta durante los primeros minutos de despertar (Åkerstedt y

Folkard, 1997). La influencia de un posible tercer factor se considera secundaria en comparación con los factores implicados en el modelo de dos procesos, por lo que, en el presente trabajo se consideran únicamente los factores homeostático y circadiano.

Las variaciones homeostáticas y circadianas en los procesos cognoscitivos se caracterizan por una mayor capacidad en horas diurnas, así como una capacidad reducida durante la noche y las primeras horas del día (Goel et al., 2013; Valdez, 2019b).

Se han propuesto tres procesos cognoscitivos básicos son fundamentales en la ejecución de cualquier actividad: la atención, la memoria de trabajo y las funciones ejecutivas. Los pacientes con alteraciones en cualquiera de estos procesos presentan dificultades para responder a casi cualquier tarea (Lezak et al., 2004). Diversos estudios han encontrado variaciones homeostáticas y circadianas en estos tres procesos (Valdez, 2019b; Valdez et al., 2012; Valdez et al., 2008), por lo que es posible que las variaciones en los procesos cognoscitivos básicos modulen las variaciones en la ejecución de muchas actividades.

Asimismo, se ha propuesto que las variaciones en la atención afectan las variaciones en otros procesos cognoscitivos (Valdez 2019a, 2019b). Un modelo de la atención que se ha utilizado en el estudio de ritmos circadianos es el modelo neuropsicológico de Posner y Rafal (1987), el cual integra los componentes de: alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva y atención sostenida. Se han observado variaciones homeostáticas y circadianas en cada uno de estos componentes, caracterizadas por una mejor capacidad atencional alrededor de las 18:00 h y un nivel más bajo entre las 04:00 y las 07:00 h, con un retraso de aproximadamente 2 horas con respecto a las variaciones circadianas de la temperatura corporal (Valdez, Ramírez et al., 2005; Valdez et al., 2010). Además, se han encontrado variaciones homeostáticas y circadianas en otras propiedades de la atención, como la capacidad de responder a nueva información después de haber respondido a un evento inicial, lo cual exige al límite la atención (Bratzke et al., 2009; Couyoumdjian et al., 2010; Gallegos et al., 2019; Shenfield et al., 2020).

Anteriormente se ha evaluado la capacidad limitada de la atención utilizando el Parpadeo Atencional (PA) (Band et al., 2006; Cohen, 2014), una falla para detectar o identificar un segundo evento cuando se presenta entre 200-500 ms después de un primer evento. No obstante, cuando dos eventos ocurren separados por intervalos de 100 ms, ambos pueden ser reportados eficientemente, lo que se conoce como “exención del primer intervalo” dado a que este intervalo está exento del PA. Durante el fenómeno de exención los dos eventos pueden procesarse como uno solo, lo que se manifiesta frecuentemente en un reporte con un orden invertido de los eventos. Dos eventos también pueden ser reportados cuando ocurren con un intervalo de

separación mayor a 500 ms, debido a que ambos eventos tienen suficiente tiempo para ser procesados de forma independiente (Dux y Marois, 2009; Martens y Wyble, 2010; Raymond et al., 1992).

El PA y la exención del primer intervalo pueden ser evaluados con Presentaciones Visuales Seriales Rápidas (PVSR), en las que se presenta una serie de estímulos en el centro de una pantalla, la mayoría de los cuales son distractores, y dos son estímulos específicos (E1 y E2) que deben ser detectados o identificados. Estos eventos se presentan muy rápidamente, usualmente a una tasa de presentación de 10 estímulos por segundo. El E1 y el E2 se presentan separados por intervalos dentro (200-500 ms) y fuera (100, 600-800 ms) del intervalo de PA.

Algunos estudios han evaluado posibles efectos homeostáticos y circadianos en el PA (Gallegos et al., 2019; Shenfield et al., 2020). Por un lado, se ha reportado que el PA y otros parámetros de la PVSR como la exención del primer intervalo, se mantienen estables con la privación parcial del sueño (Shenfield et al., 2020), lo que implica que el límite atencional puede no afectarse por el factor homeostático.

Por otro lado, se ha reportado que tanto el factor homeostático como el circadiano provocan cambios en el PA (Gallegos et al., 2019). En el estudio de Gallegos et al. (2019), se realizó un protocolo de rutina constante (Duffy y Dijk, 2002), que consistió en 29 registros consecutivos sin dormir durante dos días sucesivos, con aplicaciones de la tarea de PVSR cada hora. Durante el día, se presentó un PA, caracterizado por una alta eficiencia para responder al E1 y al E2 en intervalos largos (600-800 ms) y una menor eficiencia en las respuestas al E2 en el intervalo de 200 ms. Sin embargo,

la eficiencia para responder al E2 en un intervalo de 100 ms solo fue eficiente durante los primeros dos registros y luego disminuyó hasta alcanzar los niveles presentados en el intervalo de PA, por lo que el fenómeno de exención dejó de presentarse. Además, durante la noche y con la acumulación de horas en vigilia, la eficiencia para responder al E1 y al E2 tuvieron una reducción progresiva. En particular, la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 800 ms se redujo a un nivel similar al del intervalo de 200 ms.

Una primera hipótesis planteada por los autores es que la reducción general en la capacidad para responder a un segundo estímulo observada durante la noche y con la privación de sueño, podría ocasionarse por una prolongación del intervalo de PA al menos hasta los 800 ms, como efecto de los procesos homeostáticos y circadianos. Una extensión del intervalo de PA mayor a 1000 ms se ha observado en pacientes con alteraciones atencionales como la agnosia espacial unilateral (Husain y Rorden, 2003; Husain et al., 1997), o la enfermedad de Alzheimer (Kavcic y Duffy, 2003). Esta posibilidad no pudo evaluarse en el estudio de Gallegos et al. (2019), ya que solo se incluyeron intervalos de hasta 800 ms entre los dos estímulos. Si el PA se prolonga por los efectos homeostático y circadiano, como establece esta primera hipótesis, la eficiencia para responder a un segundo evento en intervalos mayores a 800 ms podría alcanzar la misma eficiencia que las respuestas a un solo evento.

Por otro lado, también se ha reportado que la eficiencia para responder al E1 presenta un deterioro profundo durante la noche y con la privación de sueño, por lo que una segunda hipótesis es que el deterioro en el PA se debe a una reducción general en la alerta. Si los efectos sobre el PA se deben a una reducción en la alerta, el nivel de

eficiencia del E2 en intervalos mayores a 800 ms sería igual de bajo en cualquier intervalo, además, la eficiencia para responder al E1 sería igualmente reducida pero mayor que la del E2 (Gallegos et al., 2019). No se conoce cómo los factores homeostático y circadiano afectan las respuestas al E2 en intervalos mayores a 800 ms, por lo que fueron evaluadas en el presente estudio como el primer indicador del límite atencional.

Además, se ha reportado que un parámetro del PA que no se modifica por efectos homeostáticos ni circadianos (Gallegos et al., 2019). Este parámetro es el porcentaje de respuestas invertidas durante la exención del primer intervalo. El porcentaje de inversiones en el intervalo de 100 ms suele ser cercano al 30% en experimentos con registros en un solo momento del día (Chun y Potter, 1995; Hommel y Akyürek, 2005). Sin embargo, en el estudio de Gallegos et al. (2019), las inversiones de orden se mantuvieron constantes con un nivel aproximado al 40% durante todo el experimento. Estos resultados sugieren que el mecanismo asociado con las respuestas invertidas puede ser más resistente que otros parámetros del PA a los efectos producidos por la hora del día o la acumulación de horas en vigilia.

Las respuestas invertidas en el fenómeno de exención se han relacionado con la integración de dos estímulos en un solo evento perceptual (Akyürek et al., 2012; Hommel y Akyürek, 2005) y en concreto con la memoria icónica (Akyürek et al., 2017; Akyürek y Wolff, 2016), un almacén que permite mantener información sensorial de los estímulos por un intervalo de hasta un segundo (1000 ms) antes de que esta información se sobrescriba o se desvanezca (Neisser, 2014; Sperling, 1960). Los estudios de integración temporal sugieren que un evento fundamental para la

ocurrencia del PA es la presentación de distractores entre E1 y E2, debido a que dificultan el procesamiento en conjunto de ambos eventos, razón por la que las inversiones se presentan con mucha más frecuencia en el intervalo de 100 ms (Akyürek et al., 2012; Akyürek y Wolff, 2016). De acuerdo con este planteamiento, la información sobre E1 y E2 puede recuperarse en el intervalo de 100 ms porque no hay distractores que puedan sobrescribir la información de la memoria icónica.

Existen tareas específicas para evaluar la memoria icónica, como la tarea de reporte completo, en la que se presentan al menos 6 estímulos visuales y se pide a las personas que recuerden tantos elementos como les sea posible (Sperling, 1960). Otra tarea utilizada consiste en el reporte parcial, en la que se presenta por un corto tiempo un conjunto de estímulos, aunque solamente los eventos indicados por una señal deben ser reportados. La señal se presenta después del conjunto de eventos luego de intervalos muy cortos (por ej. 50, 500 ms) para evaluar la memoria icónica, así como en intervalos más largos (por ej. 3000 ms) como una condición de control para evaluar intervalos posteriores al de memoria icónica, en los que la información suele perderse (Averbach y Coriell, 1961).

No se han estudiado sistemáticamente los efectos homeostáticos o circadianos en la memoria icónica, por lo que se incluyó en el presente estudio como el segundo indicador del límite atencional. Algunos estudios han reportado que esta capacidad se deteriora en pacientes con alteraciones atencionales como en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) (Ahmadi et al., 2013), la esquizofrenia (Hahn et al., 2010), y el deterioro cognitivo leve (Lu et al., 2005), por lo que es probable que esta capacidad también pueda deteriorarse debido a la acumulación de horas sin

dormir o a la hora del día, como ocurre con procesos cognoscitivos básicos como la alerta. Por otro lado, la memoria icónica podría no presentar variaciones homeostáticas ni circadianas, por lo que este proceso podría permanecer estable a pesar de las variaciones en la alerta.

Planteamiento del problema

Los estudios sobre variaciones homeostáticas y circadianas en el PA dejan dos preguntas sin resolver. Primero, no se sabe si la capacidad para responder al E2 se reduce por la extensión del intervalo del PA, o como resultado de una disminución general en la alerta, por lo que es necesario evaluar la eficiencia para responder al E2 en intervalos mayores a 800 ms.

La segunda pregunta se relaciona con el único parámetro del PA que no presenta variaciones homeostáticas y circadianas: el porcentaje de respuestas invertidas en el fenómeno de exención. El mecanismo implicado en estas respuestas invertidas puede relacionarse con etapas iniciales del procesamiento de información, específicamente en la memoria icónica, una capacidad en la que no se han estudiado posibles variaciones homeostáticas y circadianas hasta ahora. Por lo tanto, tampoco se conoce cómo se relacionarían estas posibles variaciones con las variaciones en el límite atencional.

El presente trabajo pretende responder estas preguntas evaluando las variaciones homeostáticas y circadianas en el límite atencional a través de dos fenómenos: el parpadeo atencional, específicamente en las respuestas a un segundo evento presentado con intervalos de hasta 1600 ms de separación del primero, y la memoria icónica.

Justificación de la investigación

Esta investigación pretende proporcionar evidencia sobre los efectos homeostático y circadiano en los procesos cognoscitivos que participan al evaluar el límite atencional. Es importante estudiar las posibles variaciones en las diferentes propiedades estructurales de la atención para determinar si se relacionan con las variaciones homeostáticas y circadianas conocidas en la atención, en otros procesos cognoscitivos y en general en la ejecución.

Conocer cómo se modifican las capacidades cognoscitivas humanas a lo largo del día es importante para la prevención de errores, accidentes y lesiones que ocurren frecuentemente por la noche, lo que coincide con las variaciones homeostáticas y circadianas observadas en la ejecución (Folkard y Tucker, 2003). Estas implicaciones son importantes para trabajadores de turnos extendidos, nocturnos y rotatorios (Åkerstedt, 2003; Folkard y Tucker, 2003), como médicos, pilotos, conductores, operadores de maquinaria y obreros.

Asimismo, las variaciones en la ejecución y en los procesos cognoscitivos presentan una baja capacidad durante las primeras horas de la mañana, horario en el que se inician muchas actividades escolares y laborales (Louzada y Menna-Barreto, 2007, Valdez et al., 2014). Conocer en qué medida se afectan más algunos procesos que otros puede ser útil para la planeación de las actividades a lo largo del día en cualquiera de estas áreas.

Respecto a la salud, conocer el grado en los que algunos procesos cognoscitivos son afectados por los efectos homeostático y circadiano puede ser útil para la evaluación diagnóstica o el tratamiento de personas con algunas condiciones neurológicas o psiquiátricas como la esquizofrenia (Hahn et al., 2010; Li et al., 2002) o el TDAH (Ahmadi et al., 2013; Armstrong y Muñoz, 2003; Hollingsworth et al., 2001), en las que se observa una capacidad aún más reducida para responder un segundo evento en el intervalo del PA, o en la capacidad de mantener eventos en la memoria icónica,

Objetivo general

El objetivo de este estudio es determinar la posible existencia de variaciones homeostáticas y circadianas en el límite atencional, a través de los fenómenos de PA y memoria icónica.

Objetivos específicos

- Determinar la posible existencia de variaciones relacionadas con el incremento del tiempo en vigilia (homeostáticas) y la hora del día (circadianas) en la capacidad para responder a un segundo estímulo en con un intervalo muy largo (E2 con intervalo de 1600 ms).
- Determinar la posible existencia de variaciones homeostáticas y circadianas en la memoria icónica evaluada con las respuestas a los estímulos con un intervalo entre estímulos (IEE) de 50 y 500 ms.
- Comparar las relaciones de fase de los dos indicadores del límite atencional con las variaciones de la temperatura corporal (indicador fisiológico del sistema temporal circadiano).
- Comparar en cada registro la capacidad para responder al segundo estímulo con un intervalo largo (E2 con intervalo de 1600 ms), con un intervalo dentro del PA (E2 con intervalo de 200 ms) para analizar la presencia del PA durante el registro.
- Comparar en cada registro las variaciones en la eficiencia en los intervalos correspondientes al intervalo de memoria icónica (50 y 500 ms) con la eficiencia en el intervalo de control (3000 ms), para analizar distintas etapas de la memoria icónica durante el registro.

Hipótesis

La hipótesis del presente trabajo es que se presentarán variaciones homeostáticas y circadianas en los fenómenos de PA y la memoria icónica (indicadores del límite atencional), que se relacionarán con las variaciones circadianas de la temperatura rectal. De acuerdo con esta hipótesis, se plantean las siguientes predicciones:

- Se presentarán variaciones homeostáticas y circadianas en la capacidad para responder a un segundo estímulo con un intervalo muy largo (E2 con intervalo de 1600 ms).
- La memoria icónica presentará variaciones homeostáticas y circadianas similares a las variaciones en la temperatura y los procesos cognoscitivos básicos.
- Las variaciones encontradas en los dos indicadores del límite atencional presentarán una relación de fase con respecto a la temperatura corporal.
- La capacidad para responder a un segundo estímulo después de un intervalo largo (E2 con intervalo de 1600 ms) será alta y más parecida a la eficiencia del E1 durante el día, pero durante la noche y las primeras horas de la mañana, será reducida y similar a la capacidad para responder en el indicador del PA (E2 con intervalo de 200 ms). Sin embargo, la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 1600 ms será ligeramente superior a la del intervalo de 200 ms durante todo el registro, indicando que el PA seguirá ocurriendo pese a la avanzada hora del día o el incremento de horas en vigilia.

- La eficiencia para responder a los intervalos correspondientes a la memoria icónica (50, 500 ms) será mayor a la eficiencia en el intervalo de control (3000 ms) durante todo el registro, lo que indica que la información de la memoria icónica se recuperará mejor en los intervalos cortos a pesar de las variaciones homeostáticas y circadianas.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

I. VARIACIONES CIRCADIANAS Y HOMEOSTÁTICAS

Antecedentes

Los movimientos de rotación y traslación de la Tierra producen cambios en las condiciones ambientales, que se manifiestan en el día y la noche, y las estaciones del año respectivamente. Prácticamente todos los seres vivos han surgido y se han desarrollado bajo cambios cíclicos en condiciones ambientales como la iluminación y la temperatura, además de otros cambios directamente relacionados con la supervivencia como la disponibilidad de alimento, la presencia de depredadores y la reproducción. Los organismos han logrado adaptarse a estos cambios en el ambiente generando respuestas cíclicas que les permiten sobrevivir en condiciones específicas (Golombek, 2007; Moore-Ede et al., 1982; Valdez, 2015).

Los organismos responden de diversas formas a los cambios ambientales. Por ejemplo, pueden generarse patrones de respuestas cuando los cambios ambientales generan un desequilibrio en el medio interno, conocidas como “homeostasis”. Este tipo de respuestas permite al organismo mantenerse en un estado estable, pero las respuestas solo ocurren después del cambio en el ambiente. Por otro lado, un organismo puede desarrollar un mecanismo capaz de generar oscilaciones internas, que le permiten medir el tiempo y sincronizar sus funciones con el tiempo externo. Estas respuestas permiten al organismo anticiparse a los cambios en el ambiente. Un

ejemplo de este mecanismo puede observarse en la secreción de cortisol, que alcanza su mayor nivel antes de despertar de forma que prepara al organismo para este momento. Estas respuestas al tiempo son conocidas como ritmos biológicos (Golombek, 2007; Valdez, 2015).

Los ritmos biológicos son estudiados por una disciplina denominada “cronobiología” (Halberg, 1969), la cual ha tomado relevancia en las últimas décadas, incluso, el Premio Nobel de Fisiología o Medicina de 2017 fue otorgado a Jeffery C. Hall, Michael Rosbash y Michael Young por sus estudios sobre las bases moleculares de los ritmos circadianos (Huang, 2018).

Existe evidencia del conocimiento de la actividad cíclica de algunos animales y plantas desde tiempos remotos. Por ejemplo, Alejandro Magno registró los movimientos diarios de las hojas de las plantas y los pétalos de las flores desde el siglo IV a.C. En esta misma época, Andróstenes de Taso describió que los árboles de tamarindo (*Tamarindus indicus*) cerraban sus hojas durante la noche (Moore-Ede et al., 1982).

La primera evidencia formal sobre el origen interno en los ritmos biológicos fue proporcionada en 1729 por Jean Jacques d’Ortous de Mairan, quien registró los movimientos de las hojas de una planta sensitiva en diferentes momentos del día. En condiciones normales esta planta extiende sus hojas durante el día y las pliega durante la noche. Durante el experimento, la planta fue colocada en un lugar oscuro donde no recibía la luz del sol, y se encontró que sus hojas siguieron extendiéndose de forma normal, demostrando que las oscilaciones en el movimiento de las hojas son generadas dentro del mismo organismo a través de un mecanismo de medición del tiempo (Golombek, 2007; Moore-Ede et al., 1982; Ramírez et al., 2015a).

Otros experimentos replicaron estos hallazgos durante las siguientes décadas, aunque el origen endógeno de estas respuestas cíclicas no fue aceptado sino hasta un par de siglos después. En 1832, Agustín de Candolle reportó una modificación del periodo del movimiento de una planta sensitiva (Moore-Ede et al., 1982). En este estudio, una planta fue colocada en condiciones de oscuridad y temperatura constantes, y se comprobó que la planta no sólo mantuvo el ritmo circadiano en el movimiento de sus hojas, sino que también, estas se extendieron cada día más temprano, produciendo ciclos con periodos de entre 22 y 23 horas.

A finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, se realizaron numerosos estudios en plantas y animales que aportaron evidencia a favor del origen interno de los ritmos biológicos. En su libro de 1880, “Sobre el poder del movimiento en las plantas”, Wilhem Pfeffer sugirió que el movimiento periódico de las hojas era una propiedad inherente de las plantas. Durante la década de 1930, Edwing Bünning demostró que algunas plantas e insectos seguían presentando actividad rítmica a pesar de que ellos e incluso sus padres fueran criados en condiciones constantes (Moore-Ede et al., 1982).

En los años 50, Colin Pittendrigh demostró que existen variaciones en la hora del día en la que las moscas de la fruta (*Drosophila*) eclosionan de sus pupas. Estos resultados fueron poco influenciados por los cambios en la temperatura ambiental, por lo que Pittendrigh sugirió que, aunque un aumento en la temperatura corporal acelera el metabolismo, no acelera sus ritmos biológicos, una propiedad fundamental para un mecanismo que mide el tiempo (Pittendrigh, 1954).

Respecto a estudios con mamíferos, William Ogle describió desde 1886, un ritmo diario en la temperatura corporal del ser humano, caracterizado por incremento antes de despertar y una disminución antes de dormir. Tales cambios no podían ser consecuencias directas de los cambios en la iluminación, por lo que Ogle sugirió que su producción era una función orgánica (Moore-Ede et al., 1982). Estos resultados fueron replicados en monos en condiciones de oscuridad e iluminación constantes (Simpson y Galbraith, 1906). En esta época también se presentó el primer análisis extensivo sobre la actividad rítmica en ratas, en el cual se demostró que la actividad rítmica de estos animales estaba sincronizada por los ciclos de iluminación ambiental y por las horas de alimentación (Richter, 1922).

Las evidencias que confirmaron la naturaleza endógena de las respuestas rítmicas en humanos fueron presentadas desde la década de 1960, cuando Aschoff y Wever documentaron que los ciclos de vigilia y sueño adoptaban periodos de 24-26 horas cuando las personas no estaban expuestas a señales de tiempo, sugiriendo la existencia de un mecanismo endógeno que en condiciones normales le permite al organismo sincronizar sus actividades conforme los cambios cíclicos del ambiente (Moore-Ede et al., 1982). En esta década, Franz Halberg acuñó el término “circadiano” para describir a estos ritmos biológicos que se repiten aproximadamente cada día (Halberg, 1969).

En la segunda mitad del siglo XX, diversos estudios demostraron que los ritmos circadianos dependen en gran parte de los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo (NSQ). Algunos de estos estudios demostraron que la lesión del NSQ produce una eliminación de los ritmos circadianos en variables como la locomoción y la secreción de corticosteroides en ratas (Moore y Eichler, 1972; Stephan y Zucker, 1972). Otros estudios han reportado que la actividad neuronal del NSQ siguen presentando oscilaciones circadianas en condiciones in vitro (Green y Gillete, 1982). Finalmente, se ha comprobado que un trasplante de NSQ produce que el organismo receptor adopte el periodo y la fase de los ritmos circadianos del organismo donador (Drucker-Colín et al., 1984; Ralph, 1996). Este tipo de descubrimientos sentaron las bases anatómicas y fisiológicas para explicar lo que hoy se conoce como sistema temporal circadiano. A partir de esta época se han realizado numerosos estudios sobre ritmos circadianos en diversas variables fisiológicas y psicológicas en el ser humano.

Pese al creciente número de demostraciones a favor de la naturaleza endógena de los ritmos circadianos, algunos autores siguieron considerando que estas respuestas eran producto de oscilaciones ambientales. Uno de los principales autores a favor de la naturaleza exógena fue Frank Brown Jr., quien en sus investigaciones sugirió que los ciclos de respuesta eran producto de algunas oscilaciones en variables como el campo electromagnético terrestre y las radiaciones cósmicas que recibe el planeta (Brown, Jr., 1965; Brown, Jr. y Scow, 1978; Ramírez et al., 2015a). A pesar de la existencia de evidencia a favor y en contra de ambas teorías, actualmente se acepta ampliamente la teoría endógena debido a que la evidencia sugiere que los ritmos no solo surgen sino se mantienen por acción del propio organismo.

Tipos de ritmos biológicos

De acuerdo con su frecuencia, los ritmos biológicos pueden clasificarse en ritmos ultradianos, circadianos e infradianos (Halberg, 1969) (Figura 1). Los ritmos ultradianos tienen una frecuencia mayor a un ciclo por día y un periodo menor de 20 h, los ritmos circadianos, con una frecuencia cercana a un ciclo por día y un periodo de entre 20 y 28 h, y los ritmos infradianos, cuya frecuencia es menor de un ciclo por día y su periodo es mayor de 28 h. Los ritmos circadianos serán los ritmos biológicos estudiados en este trabajo, por lo que se describen a profundidad en la siguiente sección.

Algunos ejemplos de ritmos ultradianos en el ser humano son el ritmo cardíaco y el ritmo respiratorio, cuyos periodos son aproximados a 1 y 4 segundos respectivamente. Respecto a los ritmos infradianos, el ciclo menstrual es un ejemplo de un ciclo con un periodo aproximado de un mes (Golombek, 2007; Ramírez et al., 2015a).

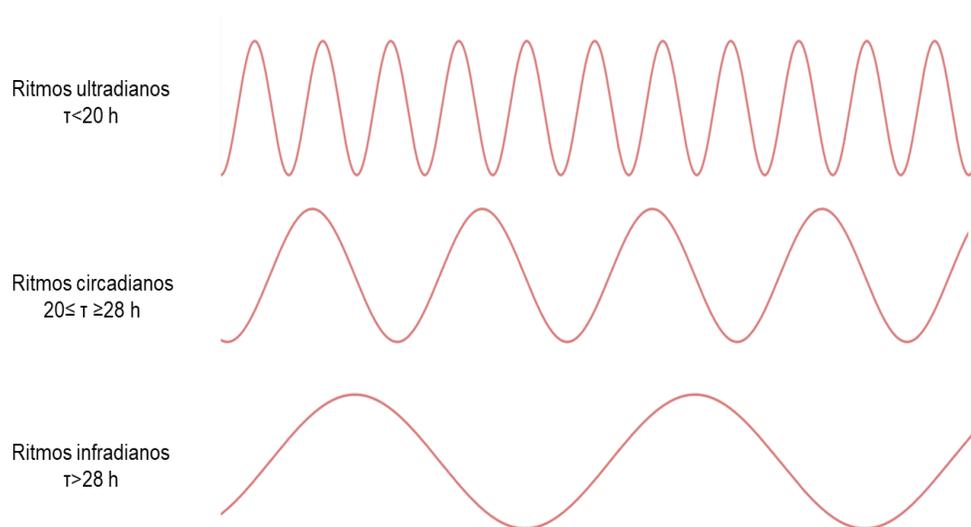


Figura 1. Clasificación de los ritmos biológicos de acuerdo con su frecuencia. T=periodo. Figura tomada de Ramírez et al., 2015a.

Formas de representar los ritmos biológicos

En el estudio de los ritmos biológicos, las oscilaciones en las variables fisiológicas y psicológicas pueden ser representadas gráficamente como una onda sinusoidal, la cual tiene las siguientes características (Ramírez et al., 2015) (Figura 2): la amplitud consiste en el valor máximo o mínimo que alcanza una variable con respecto al promedio, el cual es conocido como mesor (Kuhlman et al., 2018). Por ejemplo, una persona puede presentar un mesor en su temperatura corporal de 36.50 °C, y su amplitud durante un momento de la tarde puede alcanzar los 0.40 °C, por lo que su temperatura en ese momento alcanzaría los 36.90 °C. Por otra parte, durante la noche su amplitud puede ser de -0.40°C, reflejando una temperatura de 36.10°C.

Otras características son el periodo, el cual se refiere al tiempo transcurrido al cumplir un ciclo, y la frecuencia es una propiedad que expresa el número de ciclos por unidad de tiempo. En el ejemplo de la temperatura corporal, su periodo es cercano a 24 h y su frecuencia es de un ciclo aproximadamente cada día, por lo que puede ser clasificado como un ritmo circadiano. Además, se emplea el término “fase” para referirse a un punto específico de la oscilación. De esta forma, el momento en el que una variable alcanza su máxima amplitud se denomina acrofase, mientras que el momento en el que una variable alcanza su menor nivel se conoce como batifase (Kuhlman et al., 2018; Ramírez, 2015).

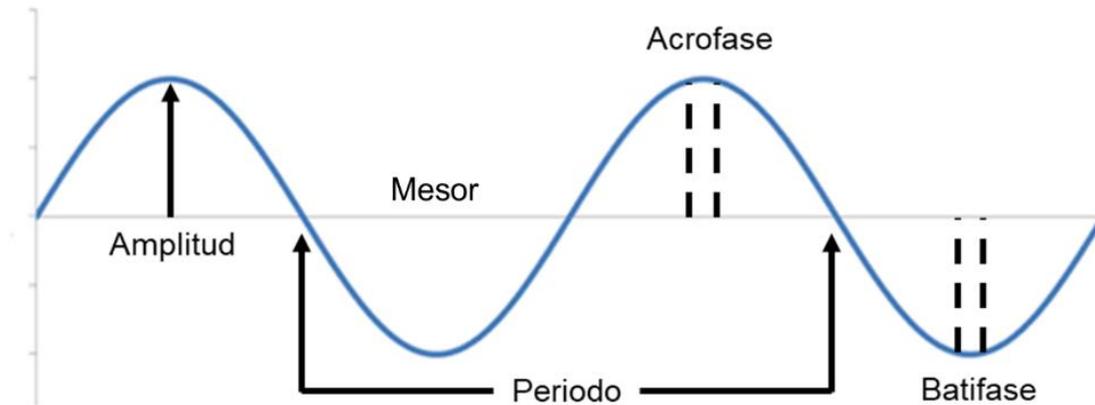


Figura 2. Características de una onda sinusoidal. Figura tomada de Ramírez et al., 2015a

Se conoce como “relación de fase” a la diferencia en tiempo (horas) entre las fases de dos osciladores. Una de estas fases es un referente de los cambios ambientales, por ejemplo, como el inicio de la iluminación en el ciclo de iluminación-oscuridad, mientras que la otra fase corresponde a las variaciones en el organismo, como el inicio de la actividad motora (Moore-Ede et al., 1982). Asimismo, los ritmos biológicos presentan una relación de fase entre sí, lo que denota un orden temporal interno en el que algunas funciones se modifican debido a la influencia de variaciones en otras (Marques, 2007). En el presente trabajo, se evaluó la temperatura como referente del sistema circadiano, por lo que las acrofases de los indicadores del límite atencional se compararon con la acrofase de temperatura para identificar posibles relaciones de fase.

Métodos de registro de los ritmos circadianos

Existen tres métodos que se han utilizado para registrar los ritmos circadianos (Ramírez et al., 2015b). El primero de ellos consiste en mediciones en distintos momentos del día sin interrumpir el ciclo de vigilia-sueño de los participantes. Este registro se enfoca en la evaluación únicamente durante el día, por lo que las horas de la noche no son reportadas, por lo que este método no es la mejor opción para el estudio de ritmos circadianos.

Un segundo método de registro se conoce como desincronización forzada (Czeisler et al., 1999), y consiste en adaptar el ciclo de vigilia-sueño de los participantes fuera del rango de entrenamiento (menos de 20 horas o más de 28 horas). En estas condiciones, la temperatura corporal mantiene sus variaciones circadianas normales, por lo que dejaría de estar sincronizada con las variaciones del ciclo de vigilia-sueño, lo que permite analizar por separado los efectos circadianos de los homeostáticos. Este método permite registrar los ritmos circadianos, aunque es necesario registrar a los participantes por varios días consecutivos.

El tercer método de registro de los ritmos circadianos es el protocolo de rutina constante (Duffy y Dijk, 2002), el cual fue empleado en la presente tesis. En este protocolo se registra una variable fisiológica en intervalos fijos por al menos 24 horas y se controlan las variables ambientales que pueden enmascarar las variaciones circadianas como la iluminación y la actividad física. Además, en todo el registro, los participantes permanecen despiertos, por lo que este protocolo también permite

registrar variaciones relacionadas con la cantidad de horas sin dormir (factor homeostático), lo cual debe considerarse para el análisis del factor circadiano.

Cualquiera de estos registros requiere el uso de medidas repetidas. Especialmente en el registro de funciones cognitivas, la eficiencia en las tareas puede presentar una curva de aprendizaje que puede enmascarar las variaciones circadianas. Para reducir este efecto, es importante entrenar a los participantes en las tareas hasta que logren un nivel estable de ejecución antes de los registros. Además, el efecto de aprendizaje también se reduce al presentar durante el registro tareas con aleatorización de sus ensayos.

El sistema temporal circadiano

Se han descubierto múltiples estructuras y vías que intervienen en la producción de los ritmos circadianos, por lo que se ha propuesto el término “sistema temporal circadiano” para referirse a este sistema en conjunto. Este sistema está compuesto por el NSQ, el cual es considerado el oscilador central, mientras que los llamados osciladores periféricos se encuentran en los tejidos de la mayoría de los órganos (Bell-Pedersen et al., 2005; Dibner et al., 2010; Golombek y Rosenstein, 2010; Honma, 2018; Lowrey y Takashi, 2004).

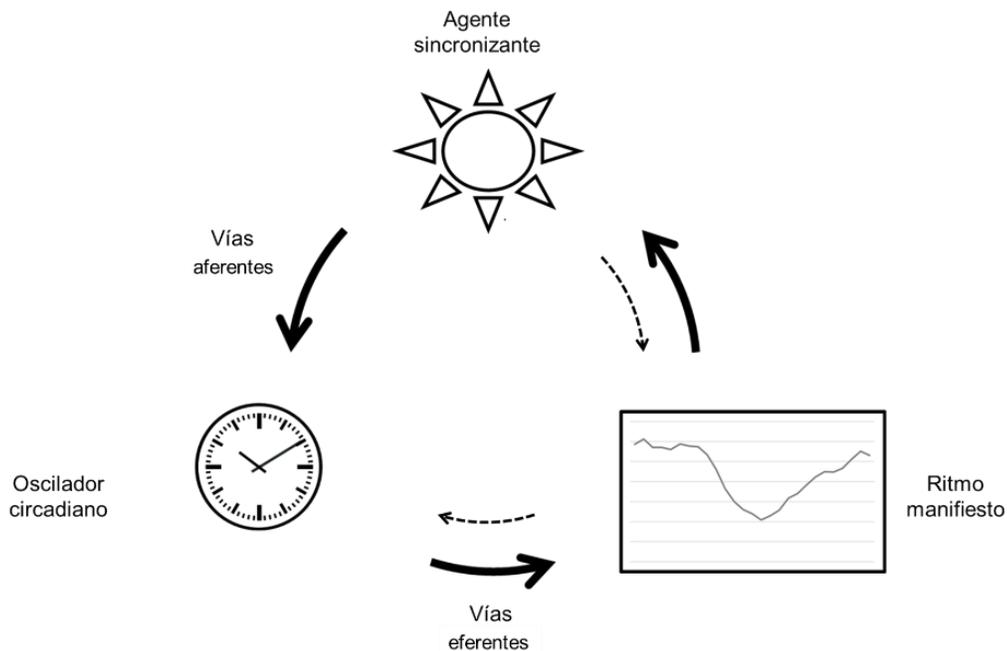


Figura 3. Circuito del sistema temporal circadiano. Figura modificada de Golombek y Rosenstein, 2010.

La sincronización del organismo con los cambios cíclicos del ambiente involucra tres elementos: un evento externo como la estimulación fónica, llamado agente sincronizante; un oscilador central como el NSQ, que recibe y distribuye esta información; y un ritmo, que consiste en la manifestación de fluctuaciones en una determinada función del organismo. Estos elementos generan influencia entre sí, de forma que el ritmo de una función puede dar retroalimentación al oscilador central e incluso modular el funcionamiento de este (Golombek y Rosenstein, 2010) (Figura 3).

El agente sincronizante más importante es el ciclo de iluminación natural. La información lumínica se recibe en las células ganglionares de la retina (vías aferentes), desde la cual se transmite la información al NSQ a través del tracto retino-hipotalámico.

Además, existen otras dos vías aferentes, el tracto geniculo-hipotalámico y la entrada serotoninérgica desde los núcleos de rafé dorsales y mediales (Dibner et al., 2010).

Las proyecciones del NSQ, son transmitidas subsecuentemente a diferentes estructuras (vías eferentes). Algunas de las principales eferencias son el área preóptica, el núcleo paraventricular del hipotálamo y la zona subparaventricular en el hipotálamo; el núcleo paraventricular del tálamo y la hojuela intergeniculada en el tálamo; así como la habénula, y la amígdala. Las vías eferentes del NSQ modulan las variaciones en funciones del sistema nervioso autónomo a través de mecanismos hormonales, por ejemplo, los cambios en la secreción de adrenalina durante el día. Asimismo, otras eferencias del NSQ emplean mecanismos neuronales para generar respuestas como los cambios durante el día en la sensibilidad de las glándulas adrenales a la adenocorticotropina (Dibner et al., 2010).

Otra parte importante del sistema temporal circadiano, son los genes reloj presentes en las neuronas del NSQ y en la mayoría de los órganos, que regulan la expresión e inhibición de ciertos genes durante el día. Estos genes actúan de forma similar a un sistema de retroalimentación negativa en el que los genes CLOCK-BMAL1 activan la transcripción de otros genes como Per1, Per2, Cry1 y Cry2 al principio del ciclo. Las proteínas derivadas de estos últimos genes (mPER y mCRY), se liberan del núcleo celular y eventualmente se acumulan en el citoplasma celular, donde forman una sola estructura (mPER-mCRY) que se desplaza al interior del núcleo celular. Dentro del núcleo, el dímero mPER-mCRY inhibe su propia transcripción al unirse con los genes CLOCK-BMAL1. Eventualmente, las proteínas mPER y mCRY se degradan tanto en el citoplasma como en el núcleo, permitiendo la ocurrencia de un nuevo ciclo. La

duración de este ciclo es de aproximadamente 24 horas (Honma, 2018; Lowrey y Takashi, 2004; Mohawk et al., 2012).

Los ritmos circadianos representan en este sistema, una manifestación de las variaciones en diferentes funciones del organismo (Golombek y Rosenstein, 2010). En condiciones normales, los ritmos circadianos adoptan un periodo de 24 horas que permanece sincronizado por las señales ambientales o agentes sincronizantes. Sin embargo, el periodo puede modificarse cuando un organismo permanece varios días en condiciones constantes, lo que se conoce como libre curso (Aschoff, 1981).

Algunas de las funciones fisiológicas del ser humano que presentan variaciones circadianas son la temperatura corporal, la actividad metabólica, la actividad de órganos como el corazón, los pulmones y el cerebro, la secreción de la mayoría de las hormonas, y el ciclo de vigilia- sueño (Moore-Ede et al., 1982; Palmer, 1976). Además de mantener una relación temporal con los agentes sincronizantes, los distintos ritmos circadianos del organismo mantienen una relación de fase entre sí, lo cual significa que los ritmos circadianos de diferentes variables fisiológicas como la temperatura corporal, la actividad del metabolismo, la secreción de hormonas como el cortisol, la adrenalina y la melatonina, así como el funcionamiento de órganos como los riñones, los pulmones y el corazón ocurren en una secuencia y con un intervalo estable entre ellas manteniendo una organización temporal interna (Marques, 2007; Ramírez et al., 2015b).

Variaciones homeostáticas y circadianas en la ejecución

El descubrimiento de variaciones circadianas en la actividad cerebral motivó la investigación de estas posibles variaciones en conductas como el desempeño de diferentes tareas motoras e intelectuales (Carrier y Monk, 2000; Kleitman y Jackson, 1950). En estos estudios se demostró que la capacidad para responder es más eficiente durante el día y se reduce por la noche y las primeras horas de la mañana, incrementando la probabilidad de errores, accidentes y lesiones (Carrier y Monk, 2000; Folkard y Tucker, 2003; Tucker et al, 2003).

Se han planteado diversos tipos de teorías para explicar los ritmos circadianos en la ejecución (Carrier y Monk, 2000; Goel et al., 2013; Valdez, 2019b). La primera de estas teorías proviene de los estudios de Kleitman en la década de 1950 en los que concluyó que las variaciones en la ejecución de diversas tareas motoras e intelectuales eran consecuencia de las variaciones circadianas en el metabolismo (Kleitman y Jackson 1950). De acuerdo con esta teoría, las variaciones en la temperatura corporal modulan las variaciones en la ejecución, por lo que las fases de ambas son similares. Sin embargo, solo algunas funciones presentan variaciones que coinciden con la fase de la temperatura corporal (Wright et al., 2002).

La segunda teoría involucra dos factores, y consiste en el modelo de dos procesos que regulan el sueño (Borbély, 1982; Bórbely et al., 2016). En este modelo, el proceso S (homeostático), modula la necesidad de dormir en función de la acumulación de horas en vigilia, mientras que el proceso C (circadiano), regula la necesidad de dormir dependiendo de la hora del día. Además de regular el sueño, se ha propuesto que los

factores homeostático y circadiano influyen de igual forma en el nivel de alerta y en la ejecución (Carrier y Monk, 2000; Goel et al., 2013). En esta teoría, las variaciones en la ejecución no coinciden con la fase de la temperatura corporal, sino que ocurren con un retraso de entre 1-4 h con respecto a la fase de la temperatura corporal (Valdez, 2019a).

Finalmente, se han propuesto algunas teorías que incluyen tres factores en la modulación de la ejecución. Algunos ejemplos son: las variaciones ultradianas en la alerta (Åkerstedt y Folkard, 1997; Kripke, 1974); las variaciones ultradianas en la probabilidad de dormir (Lavie y Scherson, 1981); la inercia de sueño, una disminución de la alerta durante los primeros minutos de despertar (Burke et al., 2015; Tassi y Muzet, 2000); y una reducción posprandial en la alerta después de mediodía (Monk, 2005). En el presente estudio, la influencia de un posible tercer factor se considera secundaria en la ejecución en comparación de los factores homeostáticos y circadianos, por lo que solo estos dos serán analizados.

Variaciones homeostáticas y circadianas en los procesos cognoscitivos

Se ha propuesto que hay tres procesos cognoscitivos básicos que modulan la ejecución de cualquier actividad: la atención, la memoria de trabajo y las funciones ejecutivas (Valdez, 2019b; Valdez et al., 2008). La atención es necesaria para responder a los diversos estímulos del ambiente, la memoria de trabajo para almacenar y manipular información, y las funciones ejecutivas para regular el comportamiento de acuerdo con el contexto. Los pacientes con alteraciones en estos

procesos cognoscitivos tienen problemas para llevar a cabo incluso actividades simples (Lezak et al., 2004). Como se describirá enseguida, se ha reportado evidencia de variaciones homeostáticas y circadianas en cada uno de estos procesos cognoscitivos básicos, por lo que es probable que dichas variaciones ocasionen las variaciones homeostáticas y circadianas en la ejecución de muchas actividades y tareas.

El primero de estos procesos, la atención, puede definirse como la capacidad de responder a estímulos del ambiente (Cohen, 2014). Uno de los enfoques para estudiar las variaciones en la atención es el modelo neuropsicológico de Posner y Rafal (1987), el cual describe cuatro componentes atencionales: alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva y atención sostenida. La alerta tónica consiste en la capacidad general para responder a cualquier estímulo en el ambiente. La alerta fásica es la capacidad para responder a un estímulo que ocurre luego de una señal de advertencia. La atención selectiva se refiere a la capacidad de responder solamente a algunos estímulos del ambiente. Finalmente, la atención sostenida se refiere a la capacidad de mantener una respuesta atencional eficiente durante un periodo de minutos a horas.

Existe evidencia de variaciones homeostáticas y circadianas en todos los componentes de la atención (Valdez, Ramírez et al., 2005; Valdez et al., 2010). Las variaciones en estos componentes de la atención han reportado una mejor capacidad para responder alrededor de las 18:00 h, con aproximadamente 10 horas sin dormir, y un punto más bajo entre las 04:00 y las 06:00 h, luego de la acumulación de más de 16 horas sin dormir. Estas variaciones ocurren con un retraso de entre 1-4 h con respecto a la fase de la temperatura corporal. Además, se ha propuesto que la

reducción en la reducción en la alerta tónica influye en la reducción en los demás componentes (Valdez, 2019a; Valdez, 2019b).

El segundo proceso básico en la ejecución es la memoria de trabajo, que consiste tanto en almacenar y recuperar como en utilizar la información (Baddeley, 1999; Sternberg y Sternberg, 2012). Se han propuesto cuatro componentes de la memoria de trabajo: el almacén fonológico, el almacén visoespacial, el almacén episódico y el control ejecutivo. El almacén fonológico consiste en un sistema en el que procesa información verbal, mientras que el almacén visoespacial procesa la información visual. El componente episódico combina la información de los almacenes fonológico y visoespacial, así como de la memoria de largo plazo. Finalmente, el componente de control ejecutivo modula la actividad de los otros componentes (Baddeley, 2012; Sternberg y Sternberg, 2012).

Se han documentado efectos de la privación de sueño (Del Ángel et al., 2015; Groeger et al., 2008), así como efectos homeostáticos y circadianos en la memoria de trabajo (Ramírez et al., 2006), en los que se presenta un nivel de eficiencia más bajo entre las 04:00 y las 07:00 h y se mantienen en relación de fase de 1-3 h con la temperatura corporal.

El tercer proceso básico en la ejecución son las funciones ejecutivas, las cuales consisten en diversas habilidades necesarias para programar y regular el comportamiento de acuerdo con los requerimientos del ambiente. La mayoría de las clasificaciones propuestas para las funciones ejecutivas incluyen diversos componentes para el establecimiento y cumplimiento de metas, como iniciativa,

inhibición, flexibilidad, planeación y auto-monitoreo (Lezak et al., 2004; Stuss, 2011; Stuss y Alexander, 2000). La iniciativa consiste en la capacidad para establecer metas y dirigir el comportamiento a su realización. La inhibición es la capacidad de contener una respuesta a estímulos irrelevantes para el cumplimiento de la meta. La flexibilidad cognitiva es la capacidad de adaptar una respuesta para enfrentar eficientemente cambios en las exigencias para realizar el objetivo. La planeación se refiere a la capacidad de identificar y organizar los pasos necesarios para cumplir la meta. Finalmente, el auto-monitoreo se refiere a la capacidad de supervisión de las acciones respecto al plan, así como al resultado de estas acciones (Valdez, 2009; Valdez, Nava et al., 2005).

Las variaciones homeostáticas y circadianas solo se han demostrado en algunos componentes de las funciones ejecutivas, como la inhibición (Manly et al., 2002; García et al., 2012; Harrison et al., 2007; Ramírez et al., 2012), la flexibilidad (García et al., 2012; Ramírez et al., 2012), y el auto-monitoreo (García et al., 2016). Las variaciones en estos componentes disminuyen alrededor de las 04:00-07:00 h, con un retraso de 1-3 h con respecto a las variaciones circadianas de la temperatura corporal.

Las variaciones homeostáticas y circadianas en que los procesos cognoscitivos básicos podrían revelar una organización temporal con la privación de sueño y a lo largo del día que (Valdez 2019a; 2019b). Esta teoría propone que durante las primeras horas del día, cuando la temperatura corporal es alta y la somnolencia es baja, los procesos cognoscitivos básicos tienen una alta capacidad. En las primeras horas de la noche, comienza a disminuir la temperatura, incrementan las horas sin dormir, aumenta la somnolencia, y empieza a observarse una disminución en los procesos

cognoscitivos más básicos como la alerta tónica, lo cual influye en otros procesos cognoscitivos básicos y la aparición de errores en el desempeño. Por otra parte, las funciones ejecutivas pueden mantenerse en un nivel eficiente en este momento y compensar la reducción en la alerta, lo que se manifiesta en algunos errores en el desempeño.

Conforme la noche avanza, la temperatura corporal alcanza sus niveles más bajos y las horas sin dormir siguen acumulándose, por lo que la somnolencia incrementa aún más y se observa una reducción en la atención, la memoria de trabajo y algunas funciones ejecutivas, así que la compensación en el deterioro de la alerta queda abolida y pueden presentarse más errores en el desempeño de actividades. En este punto, la somnolencia incrementa y la alerta disminuye tanto que las personas podrían quedarse dormidas, causando una incapacidad para responder cualquier tarea.

Por esta razón, es importante estudiar los diversos efectos homeostáticos y circadianos en los procesos cognoscitivos básicos, especialmente la atención. Conocer los límites de la atención durante el día es importante directamente para cualquier actividad en la que puedan ocurrir errores, accidentes o lesiones, como el caso de doctores, pilotos, conductores y operadores de maquinaria.

II. EL LÍMITE ATENCIONAL

Atención

La atención suele ser definida por las características de sus componentes, como la alerta, la selección y la concentración. Una de las primeras definiciones fue la de William James (1890), quien describió: “Todo el mundo sabe lo que es la atención. Es la toma de posesión por la mente de una forma clara y vívida, de uno de los que parecen ser varios objetos o trenes de pensamiento simultáneos. La focalización y la concentración de la consciencia son de su esencia”.

Los primeros estudios sobre la atención se enfocaron en su capacidad limitada para seleccionar información. Las teorías de filtro representan el principal ejemplo de estos estudios. Estas teorías proponen que una parte de la información en el ambiente es procesada con mayor eficiencia respecto a otra información que recibe menos análisis (Broadbent, 1957; Cherry, 1953; Moray, 1959). Una de las primeras explicaciones de estas teorías fue el modelo de “cuello de botella” de Broadbent (1957), en el cual se describe un mecanismo de filtro que solamente puede seleccionar uno de dos o más estímulos simultáneos, para tener acceso a etapas superiores de procesamiento, mientras que el resto de los estímulos solo se procesan en un almacén sensorial en el que la información se desvanece o se sobrescribe rápidamente. Algunos de los experimentos en los que se basa este modelo, reportaron que hablar y escuchar al mismo tiempo, o escuchar dos mensajes distintos en cada oído (escucha dicótica) ocasionan una dificultad para responder a ciertos estímulos, los cuales solo se almacenan a nivel sensorial (Broadbent, 1952a;1952b).

Posteriormente, otros modelos propusieron que la información que no era procesada no era ignorada por completo o procesada en un nivel mínimo, sino que esta información podía ser atendida si se relacionaba con el contexto del mensaje seleccionado por el filtro. Una de estas teorías es la “atenuación del filtro” propuesta por Treisman (1964), en la que se describe que el mecanismo de filtro no impide el análisis de la información no seleccionada, sino que solamente lo reduce, localizando el mecanismo de filtro en etapas posteriores del procesamiento de información, respecto a lo propuesto por Broadbent.

Treisman también realizó experimentos de escucha dicótica en los que se presentaban dos mensajes y se indicaba al participante que solo atendiera uno de los mensajes y que ignorara al otro. En este estudio, se encontró que los participantes recordaron palabras del mensaje que debía ser ignorado, cuando éstas se relacionaban con el contenido del mensaje que debía ser atendido, por lo que la autora sugirió que el filtro debía ser más flexible de lo propuesto originalmente en el modelo de cuello de botella de Broadbent (Treisman, 1964). Otros estudios en esta línea encontraron que las personas podían atender su nombre, si era parte del mensaje que debía ser ignorado (Moray, 1959; Wood y Cowan, 1995).

Otra de estas teorías, planteó que todos los estímulos solo son seleccionados después de ser analizados por completo (Deutsch y Deutsch, 1963). Estos autores concuerdan con Treisman, sobre que una persona puede responder a información de mensajes que aparentemente fueron ignorados. Esta teoría también señala que algunos estímulos tienen más probabilidad de ser atendidos (como el nombre propio), aun cuando las personas se esfuerzan en ignorarlo. Además, estos estímulos pueden dejar

de atenderse si la persona se habitúa a su exposición, aunque después de esto, otras palabras familiares podrían ser procesadas involuntariamente en su lugar. Esta habituación en niveles iniciales del procesamiento de información sugiere que el filtro se encuentra aún más allá de lo propuesto por Treisman, en un estado de “selección tardía” (Deutsch y Deutsch, 1963).

En años más recientes, se han propuesto síntesis entre las distintas teorías de filtro, proponiendo que los distintos tipos de información implican distintos mecanismos de filtro, algunos en etapas más tempranas y otros en etapas más tardías del procesamiento de información. Un ejemplo de estas síntesis es la clasificación hecha por Neisser (2014) entre procesos pre atencionales y procesos atencionales. Los primeros se refieren a procesos automáticos que pueden ocurrir en paralelo y permiten el procesamiento de información sensorial. Por otro lado, los procesos atencionales ocurren después, implican un mayor esfuerzo y ocurren de forma serial. Estos últimos procesos son más controlados por el individuo, pero siguen denotando una capacidad limitada en el procesamiento de información.

Los límites de la atención se han estudiado a través de la multitarea o “multitasking”, que se refiere a llevar dos actividades a cabo de forma simultánea. Como ocurrió con las teorías de filtro, en la multitarea también se han planteado distintas posturas sobre la cantidad de información que puede ser procesada. Una propuesta es que dos actividades pueden realizarse de forma simultánea con eficiencia, específicamente bajo las siguientes condiciones: a) cuando las dos tareas son similares, b) cuando la persona tiene práctica en las tareas y c) cuando la dificultad de las tareas es sencilla para las personas. Por otro lado, otra propuesta es que aunque muchas de estas

funciones pueden automatizarse, esto no significa que exista una capacidad ilimitada para responder a múltiples eventos (Eysenck y Keane, 2010; Sternberg y Sternberg, 2012).

En la multitarea, el límite atencional puede evaluarse presentando dos tareas al mismo tiempo, o bien, con una sola tarea que requiere dos respuestas de forma simultánea o con un intervalo muy corto entre eventos (Pashler, 1994). Algunos fenómenos atencionales permiten evaluar el límite atencional son el alternar para responder a dos tareas simultáneas; el periodo refractario psicológico (PRP), y el parpadeo atencional (PA) que implican una sola tarea con múltiples eventos presentados casi de forma simultánea (Band et al., 2006). La alternación entre tareas (Pashler, 2000), consiste en una presentación en la que se cambia frecuentemente la tarea que se requiere al participante. Así, las respuestas a los estímulos son más rápidas cuando la tarea presentada es la misma que la tarea anterior, y son más lentas cuando la tarea actual difiere de la tarea que se había establecido anteriormente.

El PRP (Telford, 1931) suele evaluarse con una sola tarea en la que se presentan dos estímulos sucesivos separados por intervalos de distinta duración. El efecto de PRP consiste en un retraso para responder al segundo estímulo cuando su presentación se superpone temporalmente con el procesamiento del primer estímulo, lo cual ocurre cuando ambos estímulos se presentan separados por intervalos menores a 500 ms. De esta forma, el procesamiento del segundo estímulo se pospone hasta que concluya el procesamiento del primero. Finalmente, el PA (Raymond et al. 1992), se refiere a una dificultad para detectar o identificar dos estímulos sucesivos cuando se presentan

con un intervalo muy corto entre ellos. Dado que el segundo fenómeno corresponde a uno de los indicadores del presente estudio, se describe detalladamente enseguida.

Parpadeo Atencional

El PA consiste en una dificultad que experimentan las personas para responder eficientemente a un segundo evento (E2) cuando este ocurre con un intervalo muy corto (200-500 ms) después del primero (E1) (Dux y Marois, 2009; Martens et al., 2010; Raymond et al., 1992). Este fenómeno suele ser evaluado con tareas de Presentaciones Visuales Seriales Rápidas (PVSR), en las que se presentan estímulos de forma individual al centro de la pantalla, usualmente con una frecuencia de 10 estímulos por segundo (Figura 4). Los estímulos son en su mayoría distractores y dos estímulos sobresalientes se presentan separados por intervalos dentro y fuera del periodo del PA (MacLean y Arnell, 2012). En estas tareas, el déficit se manifiesta en un menor porcentaje de respuestas correctas al E2 (cuando el E1 se respondió correctamente) en el intervalo del PA. Por otro lado, cuando el E2 se presenta después de este intervalo, ambos eventos pueden ser procesados de forma independiente y suelen ser reportados correctamente (Figura 5).

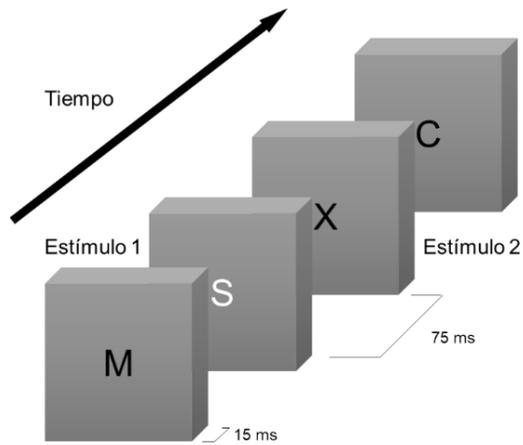


Figura 4. Tarea de PVSR utilizada por Raymond et al. (1992). Consiste en identificar un E1 (cuatro posibles letras en blanco), además de detectar si una “X” negra apareció como E2. En esta tarea podían presentarse las siguientes combinaciones: Sólo E1, E1 y E2, sólo E2 o ningún estímulo. Figura tomada de Raymond et al.,1992.

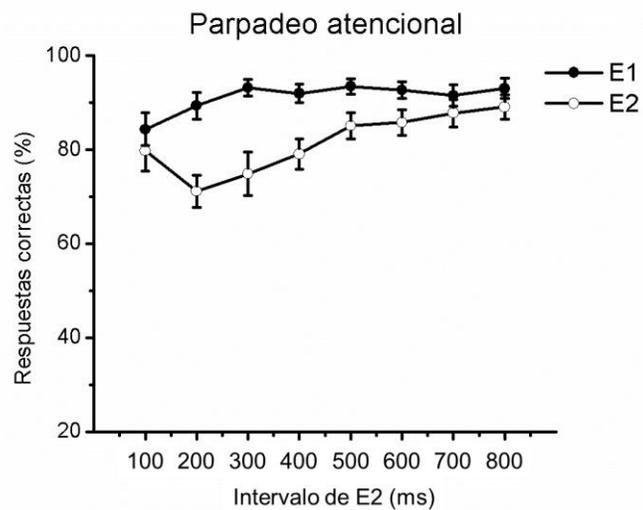


Figura 5. Función típica del parpadeo atencional. El eje X representa 8 intervalos en que se presentó E2 después de E1, mientras que el eje Y indica el porcentaje de respuestas correctas en la tarea de PVSR. Los círculos en negro señalan las respuestas correctas al E1 y los círculos en blanco indican las respuestas correctas al E2 siempre que E1 fue correcto. El PA puede calcularse comparando la eficiencia para identificar el E1 y el E2, así como comparando el E2 en estímulos dentro (200-500 ms) y fuera (600-800 ms) del PA. Figura modificada de MacLean y Arnell, 2012.

El E2 también es respondido eficientemente cuando se presenta antes del intervalo del PA (a los 100 ms), fenómeno conocido como exención del primer intervalo (Chun y Potter, 1995; Raymond et al., 1992). En este intervalo se presenta un porcentaje de aciertos que es superior al del intervalo de PA, al menos en un 5%. Además, en este intervalo también se presenta un alto porcentaje de errores de orden (más de un 30%), en los que el E1 y el E2 se reportan correctamente, pero en el orden contrario (Visser y Ohan, 2011). Asimismo, se ha reportado que el fenómeno de exención puede ocurrir en intervalos posteriores a los 100 ms cuando se presentan múltiples estímulos sobresalientes sin la intervención de distractores, produciendo una “exención extendida” (Di Lollo et al., 2005; Olivers et al., 2007; Visser et al., 1999).

Se han propuesto diversas teorías para explicar el PA. La primera teoría fue la teoría de inhibición, la cual fue propuesta en el primer reporte del PA (Raymond et al., 1992). Esta teoría propone que la presentación del E1 abre una “ventana atencional” para su procesamiento, la cual puede durar lo suficiente para procesar el estímulo siguiente (E1+1). Cuando este estímulo es un distractor, desencadena un proceso de inhibición sobre los siguientes eventos para evitar una confusión en la integración del E1 y el distractor, causando el PA. Por otro lado, cuando el E1+1 corresponde al E2, ambos estímulos pueden procesarse juntos en la misma ventana atencional, produciendo la exención del primer intervalo. Posteriores estudios plantearon que más que un mecanismo de inhibición, el PA se ocasiona por una limitación en la capacidad atencional (Chun y Potter, 1995; Shapiro et al., 1994).

Estas “teorías de capacidad limitada” predominaron posteriormente en la explicación del PA. De acuerdo con estas teorías, el procesamiento del E1 agota los recursos atencionales para procesar el E2 cuando este aparece en el intervalo del PA. Un ejemplo es la teoría de la interferencia (Shapiro et al., 1994), en la que el PA es causado por la saturación en la memoria de trabajo cuando estímulos y distractores son procesados al mismo tiempo. De acuerdo con esta teoría, cuando el E2 ocurre en el intervalo del PA, la memoria de trabajo debe procesar al menos el E1, el E1+1, el E2 y el E2+1, lo que genera la interferencia y provoca el PA. Por otro lado, cuando el E1+1 es el E2, no existe interferencia y ambos pueden procesarse eficientemente, ocasionando la exención del primer intervalo.

Otra teoría de capacidad limitada importante es la teoría de las dos etapas del procesamiento (Chun y Potter, 1995), que propone que todos los estímulos de la PVSR pueden ser procesados en un primer nivel perceptual, aunque los E1 y E2 demandan un segundo nivel de procesamiento de consolidación en la memoria de trabajo. Cuando la segunda etapa de procesamiento del E1 se interpone temporalmente con la primera etapa del E2, la capacidad para detectarlo o identificarlo correctamente se reduce, lo que causa el PA. Sin embargo, el proceso de consolidación del E1 puede durar lo suficiente para procesar el estímulo inmediato a este, por lo que, si dicho estímulo es el E2, puede reportarse eficientemente, causando la exención del primer intervalo.

No obstante, las teorías de capacidad limitada no permiten explicar la ausencia del PA en condiciones específicas, como en la exención extendida (Olivers et al., 2007), en personas con un “estado atencional difuso” (Olivers y Nieuwenhuis, 2005; 2006), práctica exhaustiva (Enns et al., 2017), y en participantes virtualmente sin PA (Martens et al., 2006).

Por otro lado, las teorías de control atencional han propuesto que, aunque exista un límite en la capacidad de procesamiento, este no necesariamente causa el PA. La primera teoría de control postulada fue la teoría de la pérdida de control (Di Lollo et al., 2005), la cual propone que el PA se debe a una interrupción en la configuración del filtro atencional. De acuerdo con esta teoría, al principio de la tarea de PVSR, el mecanismo de filtro está configurado para la detección de los estímulos, pero cuando aparece el E1, la configuración del filtro cambia de detección a consolidación, inhabilitando temporalmente la detección del E2, causando el PA. En esta teoría, la exención del primer intervalo y la exención extendida pueden explicarse debido a que cuando el E2 se presenta inmediatamente después del E1 no necesita una reconfiguración del filtro, y por lo tanto puede responderse correctamente.

Otra teoría de control atencional es la teoría de impulso y rebote (Olivers y Meeter, 2008). En esta teoría se propone que el E1 genera una respuesta atencional excitatoria o de “impulso” que es sucedida por una respuesta inhibitoria, o de “rebote”, durante la cual se dificulta el procesamiento de nueva información entrante, produciendo el PA. Similar a otras teorías, cuando no se presentan distractores entre los estímulos, el impulso atencional puede mantenerse lo suficiente para procesar eficientemente

múltiples estímulos sucesivos posteriores al E1, explicando la exención del primer intervalo y la exención extendida.

Otra teoría de control es la teoría de la cognición entrelazada (Taatgen et al., 2009; Wyble et al., 2009), la cual postula que el PA surge de un “conflicto” entre procesos paralelos y seriales. De acuerdo con esta teoría, diversos procesos cognitivos pueden llevarse a cabo en paralelo en la mayoría de las actividades. Sin embargo, esta teoría propone que las tareas de PVSR requieren de un esfuerzo excesivo para llevar a cabo todas las operaciones necesarias para identificar un simple estímulo en un tiempo muy reducido, como la percepción, la memoria declarativa para identificarlo y la memoria de trabajo para consolidarlo. Aunque estos procesos pueden ocurrir de forma simultánea, un mismo proceso solo ocurre de forma serial, por ejemplo, durante el proceso de consolidación del E1, es posible que puedan detectarse los estímulos siguientes, pero no podrán consolidarse hasta que el E1 termine este proceso. El PA surge cuando el estímulo que sucede al E1 se identifica como distractor, y se desencadena un mecanismo que previene su consolidación en la memoria de trabajo, impidiendo temporalmente el procesamiento de información.

El fenómeno de exención se explica en esta teoría porque la identificación del E2 puede ocurrir en paralelo con la consolidación del E1, cuando el E2 se presenta 100 ms después del primero. Esto ocurre debido a que, al no ser descartado, el E2 no desencadena el mecanismo que impide su consolidación, sino que permite identificarlo.

Alteraciones en el PA

Anteriormente algunas investigaciones han estudiado los mecanismos implicados en el PA al comparar diferentes condiciones en las que la función típica del PA se modifica. En algunos casos, el patrón típico puede alterarse como resultado de un PA reducido cuando se presentan una alta eficiencia para responder a dos estímulos (Enns et al., 2017; Martens et al., 2006; Olivers y Nieuwenhuis, 2005; 2006). Un ejemplo son las personas virtualmente sin parpadeo, quienes presentan un PA nulo o ausente (Martens et al., 2006), las personas con un “estado atencional difuso” que se logra cuando los individuos ejecutan una tarea simple, como escuchar música en paralelo a la PVSR (Olivers y Nieuwenhuis, 2005), y las personas que realizan una práctica exhaustiva (Enns et al., 2017; Tang et al., 2014). En cada uno de estos casos, se sugiere que los participantes muestran una mayor capacidad de distinguir estímulos de distractores que las personas con un PA típico, lo cual refleja un control atencional superior con menos dificultades en la atención.

Respecto a las personas sin parpadeo observable, algunos estudios con registros de EEG han reportado que las personas que no presentan PA son más rápidos para consolidar la información que las personas que presentan un PA normal, por lo que no experimentan alguna limitación en el procesamiento de estímulos en la tarea de PVSR (Martens et al., 2006).

El segundo caso en el que se puede superar el PA es en cuando se induce en los participantes un “estado atencional difuso”. Se ha reportado que el PA puede evitarse cuando los participantes combinan la tarea de PVSR con otras tareas menos

demandantes como pensar en sus vacaciones y escuchar música. Los autores sugieren que la atención puede ampliarse permitiendo distinguir más fácilmente los estímulos relevantes de los distractores, logrando un estado similar al de las personas sin parpadeo (Olivers y Nieuwenhuis, 2005; 2006).

El tercer caso en el que se modifica la función típica del PA corresponde a otros estudios han reportado que el PA puede atenuarse con la práctica (Maki y Padmanabhan, 1994; Tang et al., 2014; Shin et al., 2015). De cualquier forma, este efecto de práctica sobre el PA no se presenta cuando se utilizan solamente diferencias categóricas en los estímulos (por ejemplo, letras y números del mismo color) (Choi et al., 2012; Enns et al., 2017).

En estos estudios sobre el efecto de la práctica en el PA, se ha reportado que este puede reducirse, pero no desaparecer. Se ha propuesto que más que eliminar el PA, en estudios se presentó un efecto de aprendizaje que generó expectativas temporales en los participantes (Tang et al., 2014). Además, se ha observado que los beneficios adquiridos para procesar información en intervalos cortos (dentro del PA) se acompañan de un costo que se manifiesta en una disminución en los intervalos posteriores al PA.

Asimismo, la función clásica del PA también puede alterarse en condiciones en las que se presenta un deterioro en la atención como el envejecimiento (Lahar et al., 2001; Georgiou-Karistianis et al., 2007), y algunas condiciones neurológicas o psiquiátricas como la agnosia espacial unilateral (Husain y Rorden, 2003; Husain et al., 1997), la enfermedad de Alzheimer (Kavcic y Duffy, 2003), la esclerosis múltiple (Kavcic y

Scheid, 2011) , la dislexia (Hari et al., 1999), el Trastorno por Déficit de Atención por Hiperactividad (TDAH)(Armstrong y Munoz, 2003; Hollingsworth et al., 2001), y la esquizofrenia (Li et al., 2002).

En general, se ha reportado que la mayoría de estos pacientes presentan un PA con un menor porcentaje de aciertos para responder al E2 respecto a los participantes control. Además, la mayoría de estos pacientes también presenta un PA que se prolonga más allá de 500 ms (Husain y Rorden, 2003; Husain et al., 1997; Kavcic y Duffy, 2003), lo que refleja un déficit en la dirección de la atención al segundo evento. Sin embargo, la mayoría de estos pacientes (agnosia espacial unilateral, esclerosis múltiple, esquizofrenia, TDAH, etc.), han reportado que la capacidad para responder al E1 es igual de buena que la de los participantes de condiciones control.

Además, casi todos los tipos de paciente mencionados presentan el fenómeno de exención en el primer intervalo. Este tipo de deterioro en el PA se considera selectivo, dado a que solo se observa en las respuestas al E2 durante el intervalo de PA, pero no se observa en otros indicadores del PA, como la eficiencia para responder al E1, o al E2 con un intervalo de 100 ms en el fenómeno de exención (Hollingsworth et al., 2001). Sin embargo, recientemente se ha demostrado una reducción en casi todos los parámetros del PA, como de la cantidad acumulada de horas en vigilia y de la hora del día (Gallegos et al., 2019). El único parámetro en el que no se observaron estos efectos homeostáticos ni circadianos fueron las respuestas invertidas en el intervalo de 100 ms, las cuales han sido relacionadas con la memoria icónica, una etapa previa a la selección de información. Este proceso representa el segundo indicador del límite atencional del presente estudio y será abordado en la siguiente sección.

Memoria

La memoria es un sistema activo que registra, codifica, almacena y recupera la información (Sternberg y Sternberg, 2012). William James sugirió la existencia de distintos niveles de almacenamiento. Por un lado, describió una memoria primaria, que maneja eventos psicológicos del presente y nunca abandona la conciencia, por otro lado, describió una memoria secundaria que se relaciona con el pasado psicológico y que además necesariamente abandona la conciencia (James, 1890).

En la década de 1960, se proporcionó evidencia directa de la existencia de una memoria de corto plazo y una de largo plazo (Baddeley, 1999; Waugh y Norman, 1965). Además, a finales de esa década Atkinson y Shiffrin (1968) propusieron una teoría que integraba un tipo de memoria adicional que almacena información sensorial.

Los tres almacenes propuestos en el modelo de Atkinson y Shiffrin son: la memoria sensorial, que se refiere al almacén inmediato en el que se registran las propiedades sensoriales de los estímulos y que puede desvanecerse después de unos cientos de milisegundos. El segundo almacén es un sistema de corto plazo, que no solo retiene la información por más tiempo, sino que pueden intervenir en otros procesos además de los sensoriales. Finalmente, la memoria de largo plazo, la capacidad de procesar información por largos periodos, incluso por tiempo indefinido. La recuperación de la información guardada en este almacén no requiere del procesamiento de los almacenes sensoriales o de corto plazo (Atkinson y Shiffrin, 1968; Sternberg y Sternberg, 2012).

En específico, la memoria sensorial se ha clasificado en al menos dos componentes: la *memoria icónica*, la cual se refiere al procesamiento de estímulos visuales y la *memoria ecoica*, cuando implica el procesamiento de estímulos auditivos (Neisser, 2014). En este trabajo se describe únicamente la memoria icónica.

Memoria icónica

La memoria icónica fue definida en un inicio como una persistencia de impresiones que perdura luego de la exposición de estimulación (Sperling, 1960). Esta forma de memoria puede almacenar gran parte de la información durante un breve periodo (menor a un segundo) luego del cual se sobrescribe o se pierde con facilidad (Broadbent, 1957; Becker et al., 2000).

El primer estudio que registró formalmente la memoria icónica utilizó una presentación de estímulos visuales en una pantalla (Sperling, 1960). En esta tarea se requería que los participantes identificaran tantas letras como pudieran en matrices con un número variable de estímulos (desde 3 hasta 12), cuya presentación tuvo una duración de 50 ms, técnica que se conoce como “reporte completo”. En estos estudios se demostró que las personas podían reportar 3 o 4 estímulos en promedio, independientemente del número de estímulos que aparecieran en la matriz.

Además, Sperling (1960) empleó una variante de esta prueba que denominó “reporte parcial” en el cual se presentó una señal auditiva (un tono) luego de la presentación de dos filas de estímulos visuales. Cuando el tono aparecía con una latencia corta después de los estímulos visuales (50 ms), los participantes respondían con mayor

eficiencia que cuando el tono se presentaba con una latencia más larga después de los estímulos visuales (más de 500 ms). Estos últimos ensayos permiten evaluar el nivel en el que la información de la memoria icónica se desvanece o se sobrescribe (Sperling, 1960).

La memoria icónica también ha sido evaluada con tareas con señales visuales (Averbach y Coriell, 1961). En el estudio de Averbach y Coriell (1961).se empleó una tarea de reporte parcial en la que se presenta una matriz de 2 filas y 8 columnas con estímulos (letras), que eran presentadas por 50 ms. Después de su desaparición, la pantalla se mantuvo en blanco en un intervalo variable de 50-200 ms, a lo que siguió la presentación de una pequeña barra vertical (señal visual) durante 200-250 ms, la cual pudo situarse encima o debajo de cada una de las 16 posiciones de las letras, sin ocupar físicamente el mismo espacio que estas habían cubierto (Figura 6).

En esta tarea las personas tienen que responder cuál es la letra que apareció en la posición en la que se presentó la barra. La evidencia indica que las personas pueden identificar mejor la letra requerida cuando la barra se presenta después de un intervalo corto (50 ms) de la barra debido a que la información puede mantenerse en el almacén sensorial.

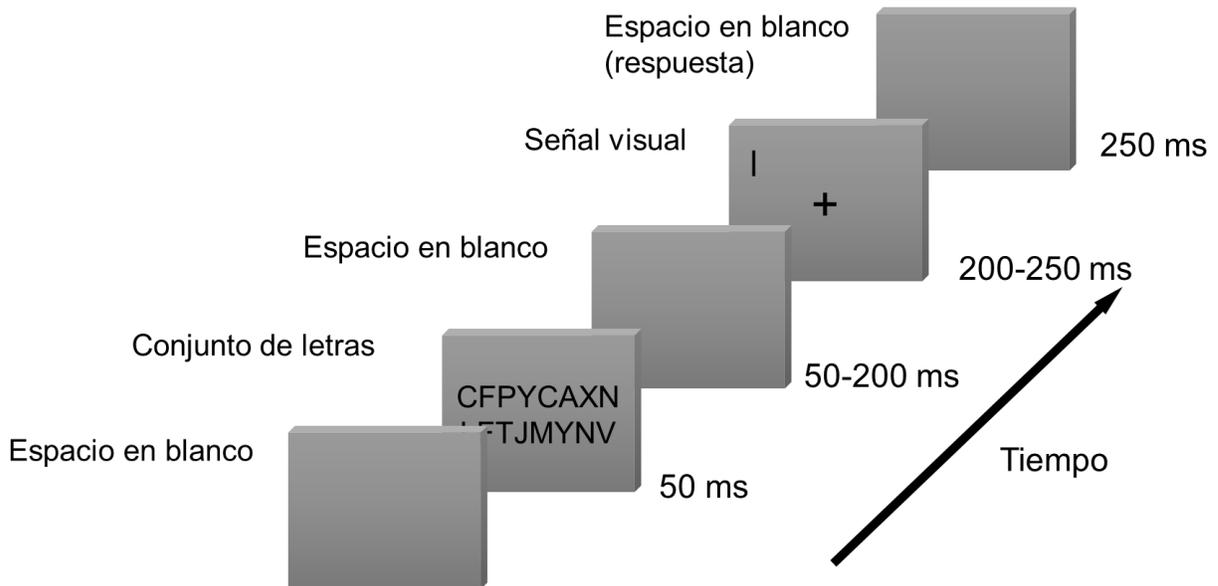


Figura 6. Tarea de memoria icónica de reporte parcial. En esta tarea se presentó una matriz de 8 columnas y dos filas como estímulos. Una señal visual se presentó señalando una de las 16 posiciones. Figura modificada de Averbach y Coriell, 1961.

En años más recientes, una nueva versión de la tarea de reporte parcial ha sido utilizada para evaluar la memoria icónica (Becker et al., 2000; Lu et al., 2005; Hahn et al., 2010). En esta versión se presenta brevemente una matriz de letras alrededor de un punto de fijación (cruz al centro de la pantalla), seguida de un intervalo entre estímulos con una duración variable desde 0 a 1000 ms (intervalo de memoria icónica), y una señal visual que marca los eventos que deben ser identificados. Los eventos deben responderse verbalmente para evitar que las personas dirijan su vista al teclado y cometan más errores.

Cuando la señal se presenta en el intervalo de memoria icónica, las personas pueden identificar correctamente la letra, aunque cuando el intervalo es más largo, la respuesta es deficiente debido al desvanecimiento de la información. Se ha demostrado que la eficiencia máxima en los intervalos de la memoria icónica puede variar entre un 70 y un 90%. Además, en intervalos posteriores (más de 2 segundos) la información se desvanece del almacén sensorial y la eficiencia se reduce hasta alcanzar niveles cercanos al 50% (Bradley y Pearson, 2012).

Luego del descubrimiento de la memoria icónica, algunos autores señalaron que el concepto en sí mismo y la forma en que era evaluado eran confusos debido a que no era claro cómo este proceso se distinguía del fenómeno de posimagen, el cual ocurre por la activación de los bastones en la retina y es un proceso independiente de la memoria. Además, estos autores señalaron que el estudio de la memoria icónica no era práctico debido a que requería enfocar la mirada en un solo punto, cuando la mayoría de las actividades implican movimientos del cuerpo y la cabeza (Haber, 1983; Sakitt, 1975).

Para resolver la confusión entre la memoria icónica y la posimagen, Coltheart (1980) propuso la existencia de tres componentes: la persistencia neural, la persistencia visual y la persistencia de información. La persistencia neural consiste en que la actividad del sistema visual que se activa durante la presentación del estímulo permanece poco después de la culminación del estímulo. La persistencia visual comprende el tiempo en el que una persona puede reportar que sigue viendo un estímulo, aunque este haya finalizado. Finalmente, la persistencia de la información se refiere a la capacidad de mantener información (por ej., su identidad) sobre un estímulo

específico, aunque este haya terminado y no pueda verse. Este último componente representaría lo que se conocía como memoria icónica.

Como se mencionó en la sección anterior, se ha propuesto que la memoria icónica corresponde al almacén temporal previo al filtro atencional en la teoría de cuello de botella (Becker y Pashler, 2000; Broadbent, 1957). Esta teoría sugiere que solo una parte de la atención puede seleccionarse y procesarse en niveles posteriores, mientras otra parte se mantiene en un almacén sensorial en el que puede perderse con facilidad. De esta forma, la memoria icónica se relaciona con el procesamiento de nueva información cuando se evalúan los límites de la atención. En el PA, la memoria icónica se ha vinculado con el fenómeno de exención en el primer intervalo (Akyürek et al., 2017)

El fenómeno de exención se caracteriza por la identificación correcta de dos estímulos procesados en un solo episodio (Chun y Potter, 1995; Hommel y Akyürek, 2005; Visser et al., 1999). En las tareas de PVSR, la memoria icónica podría almacenar información de los dos estímulos cuando se presenten separados por 100 ms debido a que ningún distractor sería presentado y, por lo tanto, no se sobrescribiría la información del almacén sensorial. Otra característica del fenómeno de exención es la presencia de un alto porcentaje (cerca del 30%) de respuestas en orden invertido, en las que el segundo evento se responde como el primero y viceversa (E2 y E1) (Chun y Potter, 1995). Estas inversiones también son evidencia de que ambos estímulos pueden ser integrados en un solo evento perceptual, un proceso que requiere la memoria icónica (Akyürek et al., 2017; Akyürek y Wolff, 2016).

Alteraciones en la memoria icónica

La memoria icónica se ha estudiado recientemente en pacientes con alteraciones atencionales como: deterioro cognitivo leve (Lu et al., 2005), esquizofrenia (Hahn et al., 2010), trastorno del espectro autista (TEA) (McMorris, Borwn y Bebko, 2013), y TDAH (Ahmadi et al., 2013).

Los resultados sobre el procesamiento en la memoria icónica han sido diversos. Por una parte, un estudio ha reportado que no hay diferencias entre niños con TEA y participantes control al responder una tarea de memoria icónica (McMorris, Borwn y Bebko, 2013). Otro estudio ha reportado diferencias solo en algunas etapas de la memoria icónica (Lu et al., 2005). En el estudio de Lu et al. (2005), los pacientes con deterioro cognitivo leve pueden responder con la misma eficiencia en la etapa inicial de la memoria icónica (~100 ms) que los adultos mayores de un grupo control, pero luego de este intervalo los pacientes con deterioro cognitivo presentan un deterioro abrupto que difiere del desvanecimiento progresivo presentado en el grupo control. Finalmente, otros estudios han reportado que los pacientes con esquizofrenia (Hahn et al., 2010) y TDAH (Ahmadi et al., 2013) tienen una capacidad más reducida respecto a grupos control en todos los intervalos de la memoria icónica.

Por lo tanto, la memoria icónica parece ser relativamente estable incluso en trastornos con alteraciones atencionales. Sin embargo, estos estudios brindan evidencia de cómo podría deteriorarse la memoria icónica por los efectos homeostático y circadiano.

Variaciones homeostáticas y circadianas en el límite atencional

Solo algunos recientes estudios han abordado las variaciones del límite atencional en diferentes momentos del día y con la acumulación de horas en vigilia. Algunos de estos estudios reportan variaciones similares a las conocidas en los procesos cognoscitivos básicos. En el primero de estos estudios, Bratzke et al. (2007) reportaron variaciones circadianas en el PRP utilizando una tarea que presentaba dos estímulos casi de forma simultánea.

El primer estímulo (E1) era auditivo, y podía ser un tono de 300 o 900 Hz, mientras que el segundo estímulo (E2) era visual y podía ser una letra "O" o una "X". El E1 se presentó durante 200 ms, y enseguida, el E2 fue presentado después de un intervalo de 50, 200 o 1000 ms después del E1. Los participantes debían responder tan pronto como pudieran a cada estímulo, y los tiempos de respuesta a cada evento fueron registrados (TR1 y TR2) para calcular el PRP. Los TR2 con intervalos de 50 y 200 ms fueron indicadores del PRP y el TR2 con intervalo de 1000 ms representa una condición de control en la que los dos eventos pueden procesarse con la misma rapidez.

Durante el día, el PRP ocurrió con normalidad, con una menor latencia para responder al primer estímulo (TR1) que para el segundo estímulo (TR2), y en este último, hubo menores tiempos de respuesta en los intervalos de 1000 ms que en los intervalos de 200 y 50 ms. Durante la noche, el TR2 se incrementó en los intervalos entre estímulos de 50 y 200 ms, y en menor medida en los de 1000 ms. Finalmente, el TR1 también incrementó considerablemente, por lo que el aletargamiento en el PRP en este estudio

puede deberse a un incremento general en los tiempos de reacción durante la noche (Wright et al., 2002). En este estudio la eficiencia de las respuestas no fue afectada durante todo el experimento. Sin embargo, el fenómeno de PRP se enfoca en la evaluación de los tiempos de reacción y no en los aciertos al responder (Jolicœur et al., 2000), por lo que esta prueba no es apropiada para evaluar la eficiencia.

Estudios más recientes han utilizado el PA para evaluar posibles efectos homeostáticos o circadianos, presentado diferentes resultados (Gallegos et al., 2019; Shenfield et al., 2020). En el estudio de Shenfield et al. (2020), el PA se mantuvo sin cambios al comparar una condición con 7-8 h de sueño con una condición de 5-h de sueño. Además, las respuestas correctas al E1 y el fenómeno de exención en el primer intervalo tampoco se afectaron por la restricción de sueño (Shenfield et al., 2020).

Sin embargo, otro estudio ha reportado que el PA se afecta notablemente por los factores homeostático y circadiano (Gallegos et al., 2019). Los efectos homeostáticos se observaron en una disminución gradual en la eficiencia en la PVSR conforme incrementa el tiempo en vigilia. Los resultados de este estudio presentaron una función típica del PA durante las 16 primeras horas sin dormir, caracterizada por una eficiencia alta, entre 80-90%, en la respuesta al E1 y al E2 en los intervalos de 100 y 800 ms, así como una eficiencia reducida en la respuesta al E2 en el intervalo de 200 ms, con una eficiencia alrededor del 70%.

A medida que incrementó el tiempo en vigilia y avanzó la hora del día, se observó un deterioro gradual en la función típica del PA, en la que se presentó una reducción aún mayor para responder al E2 con intervalo de 200 ms (menos del 60%), e incluso en

todos los intervalos del E2. Por otro lado, los efectos circadianos en el PA se manifestaron en una mayor eficiencia para responder a cada parámetro del PA alrededor de las 18:00 h y una menor capacidad para responder durante la noche y durante las primeras horas de la mañana.

En este estudio, la capacidad para responder al E2 presentó un deterioro en todos los intervalos (Gallegos et al., 2019). Durante el día, la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 800 ms, tuvo una alta eficiencia y fue similar al porcentaje de eficiencia reportado en E1. Sin embargo, conforme llegó la noche y se acumularon horas sin dormir, la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 800 ms disminuyó hasta alcanzar niveles más parecidos en el intervalo de 200 ms (indicador del PA), que al E1. Los autores plantearon que es posible que el PA pudiera extenderse más allá de 800 ms como efecto de los factores homeostático y circadiano. Esta posibilidad no pudo evaluarse en el estudio de Gallegos et al. (2019), dado a que el intervalo de 800 ms fue el más largo de la tarea.

Una prolongación del intervalo del PA ha sido reportada en algunas condiciones clínicas como la agnosia espacial unilateral (Husain y Rorden, 2003; Husain et al., 1997), o la enfermedad de Alzheimer (Kavcic y Duffy, 2003). En estas condiciones, la eficiencia para responder al E2 se reduce como efecto del PA, pero no alcanza un alto nivel, similar a la del E1, hasta intervalos cercanos a los 1500 ms. No se han utilizado tareas con intervalos mayores a 1000 ms al estudiar las variaciones homeostáticas y circadianas del PA, por lo que en el presente estudio se utilizó una tarea que presente una tarea de PVSR que presente dos eventos separados con intervalos muy largos (1600 ms). Este es el primer indicador del límite atencional de este trabajo.

La eficiencia para responder al E2 con intervalo de 1600 ms debería ser alta durante el día, debido a que los dos estímulos (E1 y E2) serían procesados de forma independiente, como se ha demostrado con el E2 de 800 ms. Sin embargo, durante la noche y con la acumulación de horas sin dormir podrían presentarse dos posibilidades: la primera de ellas consiste en que la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 1600 ms podría disminuir como en todos los demás intervalos del E2, pero podría mantener una eficiencia superior a la del intervalo de PA (200 ms) y similar a la del E1, lo que se observaría en un efecto de PA con un intervalo prolongado.

La segunda posibilidad es que la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 1600 ms podría disminuir hasta alcanzar un nivel similar al del intervalo de PA y menor al del E1, reflejando una deficiencia general para responder al segundo evento. En ambas opciones se pronostica una reducción en la eficiencia para responder al E1, por lo que una reducción para responder al E2 con intervalo de 1600 ms podría además reflejar una reducción general en la alerta.

Otro resultado relevante para el presente trabajo es la ausencia de variaciones homeostáticas o circadianas en uno de los parámetros del PA: las inversiones de orden características del fenómeno de exención en el primer intervalo (Gallegos et al., 2019). El porcentaje de respuestas invertidas en el intervalo de 100 ms suele ser del 30% en estudios con uno o pocos registros durante el día (Chun y Potter, 1995; Hommel y Akyürek, 2005). Sin embargo, en el estudio de Gallegos et al. (2019), se reportó cerca del 40% de respuestas invertidas durante todo el registro, en un protocolo de 29 horas continuas en dos días sucesivos.

Estos resultados sugieren que a pesar de que los efectos homeostáticos y circadianos produjeron una disminución en la eficiencia general en la PVSR, los procesos subyacentes a las respuestas invertidas en el intervalo de 100 ms podrían no ser afectados por estos factores. Anteriormente, estas inversiones de orden en el intervalo de 100 ms se han vinculado con la memoria icónica (Akyürek et al., 2017). En la PVSR, la memoria icónica podría permitir recuperar la identidad de E1 y E2 en un intervalo corto (100 ms) en ausencia de distractores que pudieran sobrescribir la información sensorial. Sin embargo, esta tarea no fue diseñada para evaluar la memoria icónica, por lo que no pueden evaluarse eventos más allá de los 100 ms.

No se conocen estudios sobre variaciones homeostáticas y circadianas en la memoria icónica, por lo que no se sabe si esta capacidad depende de las variaciones homeostáticas y circadianas en la alerta como se ha propuesto que ocurre con los parámetros del PA. En esta tesis, la memoria icónica representa el segundo indicador del límite atencional. La tarea empleada para evaluar la memoria icónica es una tarea visual de reporte parcial con estímulos presentados con diferentes latencias (50, 500 y 3000 ms) antes de la aparición de una señal de advertencia. Los intervalos de 50 y 500 ms pertenecen al periodo de la memoria icónica, por lo que se espera que la eficiencia en estos intervalos sea alta, o al menos mayor que la del intervalo de 3000 ms, en el cual se espera que la información se haya desvanecido del almacén sensorial.

Es posible que las respuestas correspondientes a la memoria icónica presenten variaciones homeostáticas y circadianas relacionadas con las variaciones en la alerta, como se ha reportado en el PA. Otra posibilidad, es que los dos indicadores de memoria icónica en este estudio presenten diferentes efectos, como presentar variaciones solo en uno de los indicadores. Finalmente, las respuestas que representan indicadores de la memoria icónica podrían no presentar variaciones, lo que reflejaría que este proceso no se asocia con la organización temporal del sistema circadiano o con la influencia de procesos homeostáticos.

Conocer en qué medida se afectan los diversos procesos cognoscitivos por los efectos homeostático y circadiano es útil para todas las personas que trabajan, estudian, o se mantienen en una actividad en horarios extendidos o durante la noche y las primeras horas de la mañana, dado a que se incrementa la posibilidad de tener errores, accidentes o lesiones. Además, en el área de la salud, conocer las variaciones homeostáticas y circadianas en procesos relacionados con el límite atencional puede ser de ayuda en el proceso de evaluación y tratamiento de pacientes que presenten alteraciones neurológicas o psiquiátricas en las que se afecta el PA o la memoria icónica, como la demencia (Kavcic y Duffy, 2003), esquizofrenia (Hahn et al., 2010; Li et al., 2002) o el TDAH (Ahmadi et al., 2013; Armstrong y Muñoz, 2003; Hollingsworth, McAuliffe y Nkowlton, 2001).

CAPÍTULO III. MÉTODO

El presente estudio evaluó los posibles efectos homeostáticos y circadianos en el límite atencional a través de los fenómenos de PA y memoria icónica, utilizando respectivamente las tareas de PVSR y TMI. En este registro los participantes deben ser registrados durante un periodo prolongado, mayor a 24 horas, por lo que se necesita contar con evaluaciones neuropsicológicas que no presenten efectos de aprendizaje que puedan interferir con el registro de las variaciones homeostáticas y circadianas. Todos los participantes de este estudio completaron un entrenamiento en ambas tareas en los que se verificó esta condición.

Participantes

En este trabajo fueron registrados 14 estudiantes universitarios, 6 hombres y 8 mujeres, con una edad media de 19.27 ± 1.94 años (promedio \pm desviación estándar). Los participantes de este grupo fueron registrados en un protocolo de rutina constante de 28 horas continuas sin dormir en el cual fueron controladas la iluminación, la temperatura ambiental, la postura corporal y la ingesta calórica. Por medio de este protocolo es posible analizar la posible existencia de variaciones homeostáticas y circadianas en la ejecución de las tareas de PVSR y TMI.

Ningún participante reportó antecedentes de daño cerebral, trastornos de sueño, ni ingesta de sustancias que afecten el funcionamiento del sistema nervioso. Además, todos los participantes reportaron una visión normal o corregida. En el caso de las mujeres, no se programaron sus registros durante 5 días antes o 5 días después de su periodo menstrual debido a que algunas variables del sistema circadiano pueden modificarse.

Cada participante consintió de forma voluntaria su participación en los registros, luego de ser informados sobre el protocolo correspondiente. En el caso de los menores de edad, también se requirió la autorización de los padres de familia. Todos los procedimientos se llevaron a cabo de acuerdo con los principios de la declaración de Helsinki (2004) para la investigación con humanos.

Aparatos e instrumentos

Cuestionarios

1. Carta de consentimiento informado. En la cual se informó a los participantes sobre el objetivo y las condiciones del estudio. Todos los participantes firmaron esta carta para autorizar su participación en el estudio. Para los participantes menores de edad, también se recabó la firma de autorización de sus padres o tutores (Apéndice A).
2. Cuestionario de datos generales. Contiene preguntas sobre información personal de los participantes, como la edad, horario de actividades y las condiciones de salud. Con la información recabada en este instrumento se

identificó si los participantes cumplieron con los requerimientos del estudio (Apéndice B).

3. Cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad (Horne y Ostberg, 1976, traducción de Valdez, Ramírez y Téllez ,1998). Evalúa el cronotipo, es decir, la preferencia de horario de las personas para para dormir, despertar y realizar actividades. Este instrumento permite clasificar a los posibles participantes en una de cinco categorías: definitivamente madrugador, moderadamente madrugador, intermedio, moderadamente nocturno y definitivamente nocturno. En la mayoría de los casos, los participantes con cronotipos extremos (definitivamente madrugador y definitivamente nocturno) fueron descartados de participar en los registros experimentales (Apéndice C).
4. Cuestionario de trastornos del dormir. Este cuestionario se utilizó en el proceso de selección de participantes. Su objetivo fue identificar a los participantes con trastornos en el sueño, quienes fueron descartados del estudio (Apéndice D).
5. Versión en español del Cuestionario de hábitos de dormir de Buysse et al. (1991). Evalúa los horarios en los que las personas suelen dormir y despertar en diferentes situaciones, por ejemplo, en días hábiles y festivos. Este instrumento se aplicó para identificar si el horario de sueño de las personas podía ajustarse al horario requerido los días previos a los registros en el laboratorio (Apéndice E).
6. Escala de somnolencia diurna de Epworth (Johns, 1991). En la que los participantes reportaron qué tan probable es que se quedaran dormidos en

diversas situaciones. Una calificación igual o mayor a 9 indica un problema con relevancia clínica, por lo que las personas con estos puntajes fueron excluidas del estudio (Apéndice F).

7. Diario del dormir. Registra información sobre el ciclo de vigilia-sueño de los participantes, como la hora de dormir, la hora de despertar, despertamientos durante la noche, uso de dispositivos electrónicos, etc (Apéndice G). Con este instrumento se verificó que los participantes mantuvieran un horario de sueño aproximado de 00:00-08:00 h los días previos al registro experimental.
8. Auto registro de alimentación. En el cual fueron registrados los alimentos (cantidades, ingredientes y marca comercial) que los participantes ingirieron en un día de entre semana y uno de fin de semana, con el objetivo calcular la cantidad de calorías de los alimentos que se proporcionaron durante los registros. Para los registros, se calcularon porciones correspondientes a $\frac{1}{28}$ del 60% del promedio de la ingesta calórica diaria reportada (Apéndice H).
9. Escalas visuales analógicas (EVA) para el registro de somnolencia y cansancio (Cluydts et al., 2002). Este instrumento se aplicó cada hora durante los registros en el laboratorio con la finalidad de evaluar las posibles variaciones homeostáticas y circadianas en las sensaciones subjetivas de somnolencia y cansancio. Cada escala consiste en una línea horizontal en la cual los participantes deberán marcar con una línea vertical su sensación de somnolencia y cansancio, siendo el extremo izquierdo la más baja sensación y el extremo derecho la más alta. La longitud de esta línea es de

10 cm, y para obtener el nivel de somnolencia es necesario medir la distancia desde el extremo izquierdo hasta la marca hecha por el participante (Apéndice I).

Tareas

Los estímulos para las tareas de PVSR y TMI fueron presentados utilizando una computadora de escritorio, usando DirectRT (Empirisoft, 2008). Se utilizaron monitores de 17 pulgadas, con una resolución de 800x600 píxeles por pulgada para su presentación y las respuestas fueron registradas usando un teclado mecánico en la PVSR y un micrófono profesional en la TMI. Los sujetos no recibieron retroalimentación sobre su ejecución. La computadora presentó de manera aleatoria y sin repetición cada estímulo.

Tarea de Presentación Visual Serial Rápida (PVSR)

Esta tarea se utilizó para evaluar el PA y en específico la respuesta a un segundo estímulo con intervalos cortos (100-800 ms) y largos (1600 ms) después de un primer estímulo. Consiste en 162 secuencias de estímulos, en las cuales se presentaron entre 23 y 30 estímulos presentado de manera individual y al centro de la pantalla (a un ángulo de 14.2°). La mayoría de estos estímulos fueron distractores, que fueron letras mayúsculas (excepto B, G, S y Ñ), entre las cuales se presentaron dos estímulos (E1 y E2), que fueron números diferentes entre el 2 y el 9. Así, el intervalo entre E1 y E2 depende de cuantos distractores aparecen entre ellos, desde cero distractores en el intervalo de 100 ms, hasta 15 distractores en el intervalo de 1600 ms.

Todos los estímulos se presentaron en color negro con un fondo gris uniforme, con fuente Arial y un tamaño de 100 puntos. Cada estímulo tuvo una duración de 15 ms y un intervalo entre estímulos (IEE) de 85 ms, por lo que su duración total es de 100 ms, presentándose a una velocidad de 10 letras por segundo. La tarea tuvo una duración aproximada de 12 minutos.

Al principio de la tarea, los participantes presionaron cualquier tecla para comenzar. Luego de esto, se presentó un punto de fijación (cruz al centro de la pantalla) con una duración de 180 ms. Este símbolo se presentó al inicio de cada secuencia. El E1 se presentó después de entre 6 y 14 estímulos letras, mientras que el E2 se presentó de forma aleatoria y contrabalanceada en los intervalos de 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400 y 1600 ms posteriores al E1. En los intervalos de 100 ms el E2 ocurrió de inmediato al E1, sin distractores en medio, mientras que en los demás intervalos se presentaron distractores entre E1 y E2.

El último estímulo presentado en la tarea fue siempre un distractor (letra), y nunca el E2, para evitar que el final de la secuencia genere un efecto de distracción que evite el procesamiento del E2. Al terminar cada secuencia se presentaron dos secciones para responder, la primera con la leyenda “Primer número” requirió reportar la identidad del E1, mientras que la segunda pantalla incluyó la leyenda “Segundo número” para el reporte de la identidad del E2. Las respuestas fueron registradas con el panel numérico del lado derecho del teclado. La duración de estas secciones fue de un máximo de 2 segundos cada una y terminaban en automático en caso de registrar una respuesta antes de este intervalo (Figuras 7 y 8).

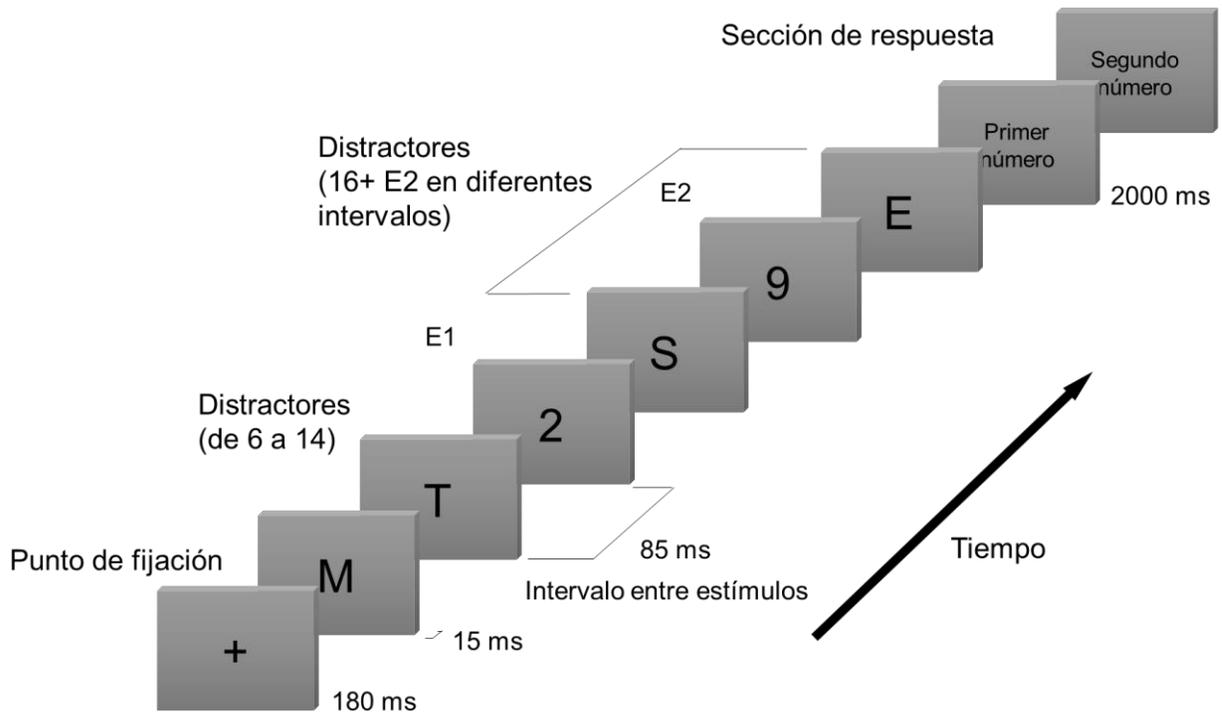


Figura 7. Tarea de PVSR utilizada en este experimento. Los estímulos E1 y E2 (números) se presentaron en diferentes posiciones en cada secuencia y ambos podían estar separados por 0-15 distractores (letras mayúsculas). Al final de cada secuencia, los participantes debían identificar los dos números. Figura modificada de Shin et al., 2015.

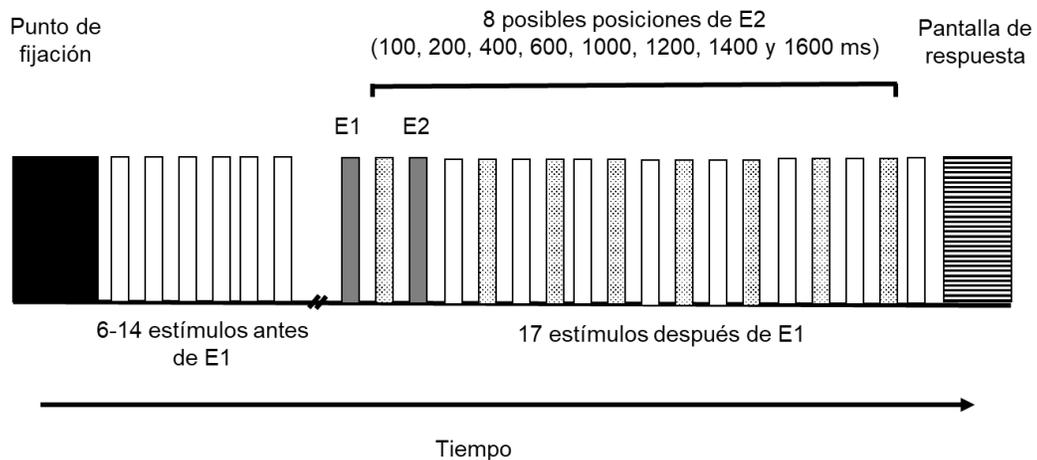


Figura 8. Sucesión temporal en una secuencia de la tarea de PVSR. El punto de fijación apareció por 180 ms, el E1 se presentó después de entre 6 y 14 distractores. Después del E1 se presentaron 17 estímulos más, 16 distractores y el E2. Este estímulo se presentó de forma aleatoria en las posiciones señaladas con relieve. Los participantes respondieron al final de cada secuencia en dos secciones de respuesta, una para E1 y otra para E2. Figura modificada de Raymond et al., 1992.

Tarea de Memoria Icónica (TMI)

Esta tarea consiste en la presentación de 108 secuencias de eventos. Al principio de cada secuencia se presentó un conjunto de estímulos, el cual estuvo compuesto por 6 letras (excepto vocales) distribuidas alrededor de un punto de fijación (cruz al centro de la pantalla). Después de este conjunto se presentó una señal visual (guion bajo), la cual podía estar ubicada en cada una de las posiciones en las que se presentó el conjunto de letras. Los estímulos fueron presentados en color negro con un fondo uniforme de color gris, en fuente Arial con tamaño 55 puntos. La duración aproximada de la tarea fue de 10 minutos. Al inicio de cada sesión se realizó una prueba de sonido con el micrófono.

En la tarea, se presentó una sección inicial en la que los participantes debían presionar alguna tecla para comenzar. Posteriormente, apareció durante 500 ms la leyenda "Listo?" en el centro de la pantalla, seguido de punto de fijación (cruz al centro de la pantalla) que se presentó de manera exclusiva en la pantalla por 180 ms, pero que permaneció durante la presentación del conjunto de letras y la señal visual. Después, se presentó por 100 ms un conjunto de seis letras rodeando el punto de fijación, el cual fue sucedido por un intervalo entre estímulos (IEE) que podría tener diferentes duraciones: 50, 500 o 3000 ms. Luego de este intervalo, se presentó una señal visual (guion bajo) por 100 ms en una de las seis posiciones en las que se presentaron las letras del conjunto.

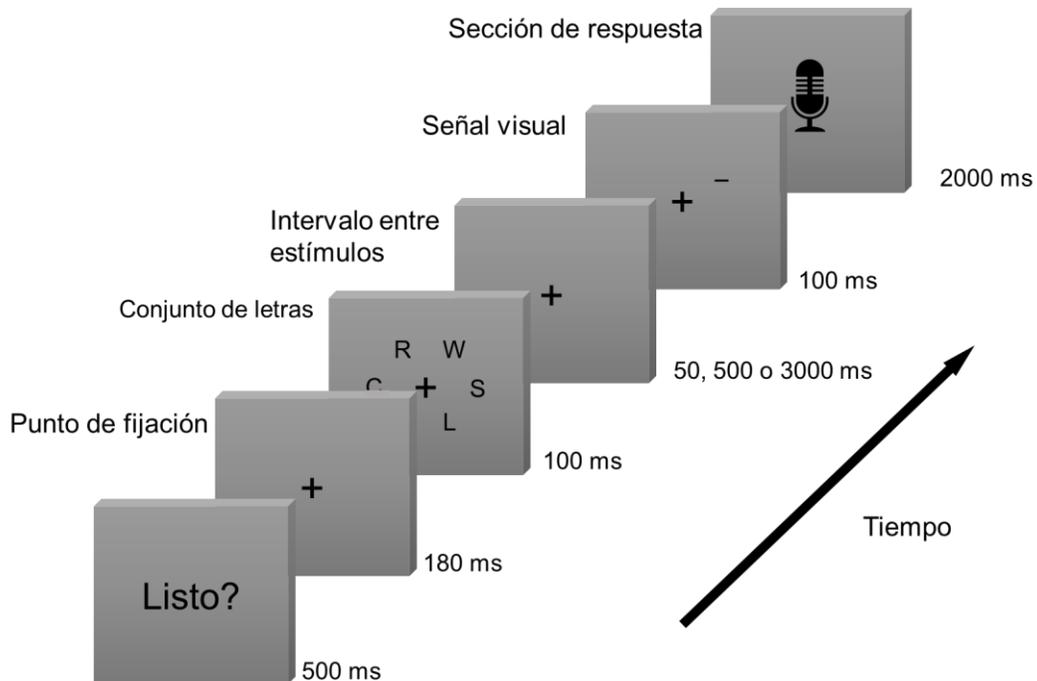


Figura 9. Tarea TMI utilizada en este experimento. Los participantes debían observar el punto de fijación durante toda la secuencia. Los estímulos fueron un conjunto de letras mayúsculas alrededor del punto de fijación. Se presentó un guion bajo después de intervalos dentro del periodo de memoria icónica (50 y 500 ms), y fuera de este (3000 ms). Al final de cada secuencia los participantes debían identificar la letra que apareció en el lugar del guion bajo, nombrándola ante un micrófono. Figura modificada de Hahn et al., 2010.

Finalmente, se presentó una pantalla en blanco en la cual, los participantes podían responder verbalmente al micrófono cual fue la letra que había aparecido en el lugar en el que se presentó el guion bajo. Los participantes podían responder por un intervalo de 2 segundos, y en caso de hacerlo antes, automáticamente iniciaba la siguiente secuencia. Las respuestas de voz fueron registradas en la computadora y también fueron escritas a mano por el experimentador en turno.

Cada conjunto de letras se presentó al centro de la pantalla (a un ángulo de 9.46°). Cada tipo de IEE se presentó 6 veces en cada una de las 6 posiciones. Los tres tipos de IEE (50, 500 o 3000 ms), así como la posición del guion bajo, fueron presentados de forma aleatoria, sin reposición y contrabalanceados (Figura 9).

Materiales

1. Área de registro. Los registros fueron llevados a cabo en dos cámaras de aislamiento térmico, acústico e iluminación solar. El área de estos cubículos es de 3 x 3.3 m, además de un baño de 3 x 1.5 m. En el centro del cubículo se colocó un sillón reclinable en el cual permanecieron recostados los participantes. En el lado contrario a la entrada, fue ubicado un escritorio con un brazo mecánico que sujetó el monitor a una distancia de 60 cm frente al participante. El registrador en turno permaneció al lado del escritorio, fuera del campo visual del participante. La temperatura de los cubículos de registro se mantuvo constante a $24 \pm 1^\circ\text{C}$ y la iluminación también permaneció constante a 5 lux.

2. Dos computadoras de escritorio con Windows XP, con monitores de 17". En las cuales se presentaron las tareas de PVSR y TMI.
3. Dos registradores de datos Squirrel SQ-2020 Series. Con estos aparatos fue posible registrar la temperatura rectal por medio de una sonda que portaba el participante.
4. Sondass rectales de PVC de 3 mm de diámetro, esterilizada y desechable. Marca Level 1 modelo 400. Detectan la temperatura con un termistor ubicado en un extremo de la sonda. Esta sonda se conectaba con el Registrador de datos Squirrel SQ-2020 Series.
5. Dos termómetros ambientales de mercurio. Este instrumento se colocó cerca de la entrada en los cubículos para registrar la temperatura ambiental.
6. Dos micrófonos dinámicos de doble impedancia MIC-175 marca Steren. A través de este micrófono se registraron las respuestas verbales en la TMI.
7. Cronómetros. Empleados para conocer la duración de las tareas de PVSR y TMI.
8. Hojas de registro. Formato en el que se incluyeron los procedimientos necesarios del registro como la duración total de la tarea y la actividad de los participantes al responder la tarea.

Procedimiento

Invitación a participantes

La primera fase del registro consistió en asistir a los salones de clases de la Facultad de Psicología para invitar a participar a los alumnos de licenciatura, que acudieran a clases en los turnos intermedio (10:20-13:40 h) y vespertino (13:40-17:00 h). Las personas interesadas fueron reunidas en el laboratorio, en donde se les proporcionó información sobre el objetivo de la investigación, el protocolo y los criterios de selección. Los participantes que aceptaron participar firmaron una carta de consentimiento informado. Finalmente, los participantes recibieron un expediente con los siguientes instrumentos: Cuestionario de datos generales, Cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad, Cuestionario de hábitos de dormir, Cuestionario de trastornos de sueño, Escala de somnolencia diurna de Epworth, así como un Diario del dormir.

Seguimiento previo al registro

Antes de los registros en el laboratorio, los participantes registraron diariamente su ciclo de vigilia-sueño durante al menos una semana utilizando el diario del dormir. Este registro se empleó para verificar que los participantes mantenían un horario de 8 horas de sueño (~00:00-8:00 am), y que no tenían privación de sueño al momento de ingresar al registro al laboratorio. También en las dos semanas anteriores al registro, se pidió a los participantes reportar su ingesta calórica un día de entre semana y uno del fin de semana en el auto registro de alimentación.

Entrenamiento de las tareas

Antes del registro los participantes tuvieron una sesión de práctica que consistió en tres presentaciones de la tarea PVSR y una de la TMI, con descansos de 5-10 minutos entre cada aplicación. El número de entrenamientos para cada participante se estableció con base en la cantidad de aplicaciones necesarias para alcanzar una ejecución estable en las tareas de PVSR y TMI.

Registros en el laboratorio

El día del registro, los participantes acudieron al laboratorio a las 10:00 h, y a las 12:00 h fueron ubicados en un cubículo acondicionado en el que se les dieron indicaciones para la colocación de la sonda rectal y recomendaciones para su uso. Posteriormente, dio inicio el primer registro del protocolo de rutina constante de 28 h (Figuras 10), en el que se controlaron las siguientes condiciones: a) el movimiento de los participantes fue limitado ya que permanecieron recostados durante todo el registro en un sillón reclinado en un ángulo de 115° , y solamente podían levantarse para ir al baño; b) la temperatura ambiental se mantuvo constante a $24 \pm 1^\circ\text{C}$; c) la iluminación del cubículo permaneció a 5 lux en todo el registro; y d) los participantes permanecieron despiertos durante todo el registro (Figuras 11 y 12).

La temperatura rectal de los participantes fue medida cada segundo, mientras que las sensaciones subjetivas de somnolencia y cansancio se registraron cada hora. Además, cada dos horas se aplicaron las tareas PVSR y TMI. Al inicio de cada registro, se registraron la somnolencia y el cansancio con las escalas visuales analógicas, luego las tareas PVSR y TMI. Durante los registros, los participantes permanecieron

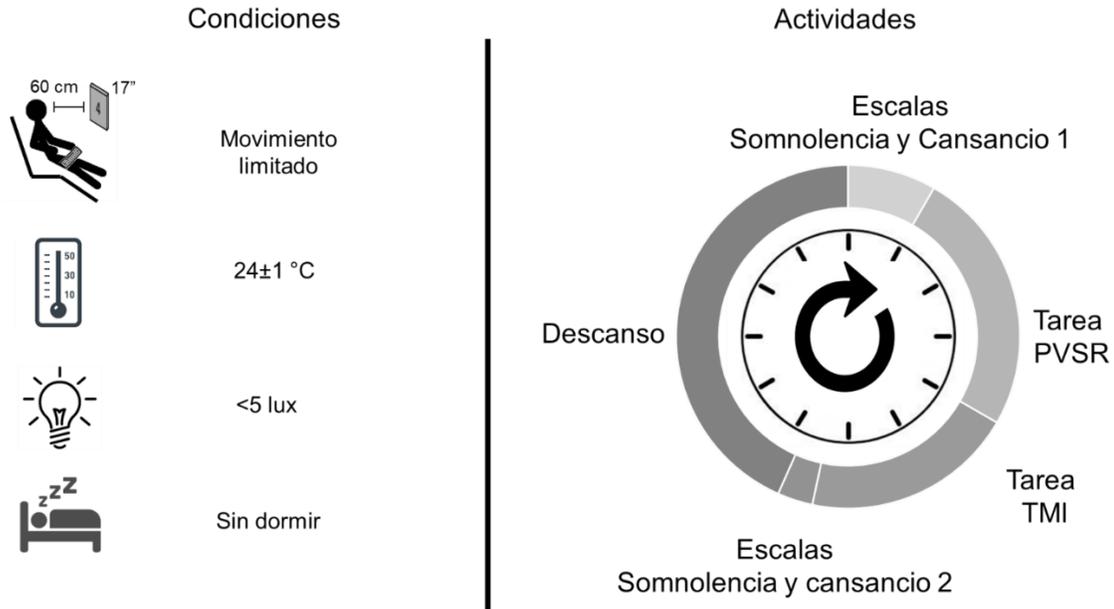


Figura 10. Protocolo de rutina constante. En el lado izquierdo se muestran las condiciones en las cuales fueron registrados los participantes. En el lado derecho se presenta la distribución temporal de un registro realizado en un periodo de una hora. Figura de elaboración propia.

recostados y tratando de mantenerse despiertos, y cuando se quedaban dormidos el registrador los despertaba luego de un minuto. Al final del registro, se registraron nuevamente la somnolencia y el cansancio, y después los participantes recibieron un bocadillo (suplemento alimenticio y galleta, o jugo y galleta) equivalente a 1/28 del 60% del promedio de la ingesta calórica diaria reportada. Luego del bocadillo, los participantes permanecieron en el cubículo acompañados por un registrador hasta el inicio del siguiente registro (Figura 10). El primer registro del día inició a las 12:00 h y el último comenzó a las 16:00 h del segundo día de registros. Los días de registro martes a miércoles y jueves a viernes. Los registros fueron llevados a cabo en febrero y marzo para evitar posibles alteraciones de sueño a causa del regreso de vacaciones en enero, y el horario de verano en abril. Además, las participantes mujeres no fueron registradas 5 días antes o después de su menstruación, o durante la misma.



Figura 11. Condiciones de registro en la tarea de PVSR. Los participantes respondieron con un teclado mecánico. Figura de elaboración propia.



Figura 12. Condiciones de registro en la tarea TMI. Los participantes respondieron verbalmente con un micrófono profesional. Figura de elaboración propia.

Análisis de datos

El Cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad fue utilizado para evaluar el cronotipo de los participantes. En esta escala se presentan 19 reactivos con diversos puntajes que pueden sumar un total desde 16 a 86 puntos. Los puntajes más bajos se asocian con cronotipos nocturnos y los puntajes más altos con cronotipos matutinos. Las clasificaciones por puntaje son las siguientes: definitivamente nocturno (16-30 puntos), moderadamente nocturno (31-41 puntos), intermedio (42-58 puntos), moderadamente matutino (59-69 puntos) y definitivamente matutino (70-86 puntos).

En los Diarios de dormir, se analizaron los siguientes datos: la hora de inicio, que comienza desde que los participantes se acostaron a dormir; la hora de término, que se refiere a la hora en que los participantes se levantaron de la cama. Además, con estos datos también se obtuvo la duración del dormir. En estos indicadores, se calcularon los promedios y desviaciones estándar de los días entre semana y los días del fin de semana por separado.

Respecto a las variables medidas durante los registros, la temperatura rectal se registró cada segundo y posteriormente se obtuvo la mediana por hora. Las fases individuales de temperatura fueron comparadas con el promedio grupal mediante un intervalo de confianza del 95%. Las sensaciones subjetivas de somnolencia y cansancio fueron obtenidas cada hora antes y después de realizar las tareas, aunque solamente las aplicaciones iniciales se analizaron en este trabajo. Finalmente, las tareas de PVSR y TMI fueron evaluadas cada 2 horas.

En la tarea de PVSR se evaluaron todos los indicadores de la tarea: la eficiencia al promedio general de E1; al E2 en los intervalos de 100, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400 y 1600 ms; y las respuestas invertidas a los 100 ms y en el promedio en los intervalos de 200-1600 ms. Sin embargo, los indicadores principales para los propósitos del presente trabajo solo son algunos de ellos, y se describen a continuación.

El porcentaje de respuestas correctas al E1 se registró como una línea base al representarla respuesta a un estímulo de forma independiente (MacLean y Arnell, 2012), por lo que se asocia con el mecanismo de alerta tónica. El porcentaje de respuestas correctas al E2 en el intervalo de 100 ms, representa un indicador del efecto de exención en el primer intervalo, en el que E1 y E2 son identificados correctamente, debido a que ambos pueden procesarse en conjunto. De acuerdo con la literatura, el fenómeno de exención implica una eficiencia mayor del 5% en el intervalo de 100 ms, respecto al intervalo de menor deficiencia, en este caso el de 200 ms (Akyürek y Wolff, 2016; MacLean y Arnell, 2012; Visser et al., 1999).

El porcentaje de respuestas correctas al E2 en el intervalo de 200 ms, se obtuvo como indicador de la dificultad para responder a un segundo evento causada por el PA (MacLean y Arnell, 2012). Además, el porcentaje respuestas correctas al E2 en el intervalo de 600-800 se registró para evaluar el periodo posterior al PA (MacLean y Arnell, 2012), y el porcentaje respuestas correctas al E2 en el intervalo de 1600 ms representa la capacidad para responder a dos estímulos separados por intervalos muy largos, lo que implica que son procesados de forma independiente.

El porcentaje de respuestas invertidas en el intervalo de 100 ms se incluyó como otro indicador del fenómeno de exención en el primer intervalo, debido a que en este intervalo suelen presentarse con frecuencia. Por otro lado, se analizó el porcentaje de respuestas invertidas promedio de los demás intervalos (200-1600 ms), debido a que en este intervalo aparecen menos inversiones de orden.

Por otro lado, la eficiencia para responder a la TMI se analizó en los tres diferentes intervalos entre estímulos (IEE): 50, 500 y 3000 ms. Las respuestas con un IEE de 50 son el primer indicador de la memoria icónica y representan un intervalo inicial en esta forma de almacenamiento. La eficiencia para responder al IEE de 500 ms, se registró como el segundo indicador de memoria icónica, específicamente de un intervalo tardío en el almacenamiento sensorial. Por último, la eficiencia para responder en el intervalo de 3000 ms se registró como una condición control al estar fuera del intervalo de memoria icónica.

En las variables de temperatura, somnolencia, cansancio y eficiencia en las tareas de PVSR y TMI, los datos fueron suavizados usando medias móviles de 3 puntos, proceso en el que el valor actual es promediado con los valores de un registro anterior y uno posterior, de forma que se reducen las variaciones secundarias. Después, se calculó la regresión lineal de los promedios de cada variable para identificar posibles variaciones debidas a la acumulación de 32 horas en vigilia (factor homeostático), 6 antes del registro y las 28 horas continuas del experimento. Luego de esto, se restó esta tendencia lineal para analizar solamente el efecto de la hora del día (factor circadiano). Posteriormente, estos datos fueron analizados con un ANOVA de medidas repetidas para evaluar las variaciones en los datos luego de restar la tendencia lineal,

y en caso de obtener resultados significativos, los datos fueron ajustados a una senoide a través de la técnica Cosinor simple con un periodo de 24 horas. Este análisis permite obtener el porcentaje en el que los datos se ajustan a una onda sinusoidal, denominado *robustez* (%R). Un nivel alto de robustez indica un mejor nivel de ajuste. Además, este análisis identifica el momento del día en el que se presenta la acrofase o batifase de una variable.

Se utilizó una prueba t de Student para muestras dependientes para las siguientes comparaciones entre individuos: en la tarea de PVSR, para comparar el porcentaje de respuestas correctas al E2 en intervalos de 200 y 1600 ms y verificar la ocurrencia del PA, así como para comparar el porcentaje de inversiones de orden en el intervalo de 100 ms con las de los intervalos de 200-1600 ms. Por otro lado, en la TMI se compararon los porcentajes de respuestas correctas en los IEE de 50, 500 y 3000 ms para clasificar los distintos niveles en el procesamiento de la memoria icónica.

La prueba t de Student para muestras dependientes también se utilizó para comparar las acrofases grupales promedio de todas las variables con la acrofase de temperatura rectal, mientras que las relaciones de fase de cada variable se calcularon restando las acrofases promedio de cada variable y la acrofase grupal promedio de la temperatura rectal.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Datos generales de los participantes

Las claves de los participantes, sus edades, las fechas de cada registro y los puntajes de en la Escala de Matutinidad y Vespertinidad se presentan en la Tabla 1.

Escala de Matutinidad-Vespertinidad

Los participantes obtuvieron una puntuación promedio de 45.33 ± 8.89 . De acuerdo con las puntuaciones individuales, nueve de los participantes fueron clasificados con un cronotipo intermedio, cuatro como moderadamente nocturnos y uno como moderadamente matutino. Además, una participante (P13) fue clasificada como “definitivamente nocturno”, aunque fue incluida en el estudio debido a que tuvo una buena sincronización con el horario requerido (~00:00-08:00 h), y no presentó síntomas de trastornos de sueño.

Diario del dormir

Se encontró que los días de entre semana los participantes se fueron a dormir a las $00:02 \pm 01:13$ h, se levantaron a las $07:56 \pm 01:30$ h, y durmieron un total de $07:54 \pm 01:35$ h. Por otro lado, los fines de semana, los participantes se acostaron a las $00:48 \pm 01:43$ h, y se levantaron a las $09:11 \pm 01:49$ h, durmiendo un total de $08:42 \pm 02:04$ h (Tabla 2).

Tabla 1. Datos generales de los participantes

| Participante | Edad | EMV | Fecha de registro |
|--------------|-------|-------|-------------------|
| P01 | 18 | 58 | 26-27/02/2019 |
| P02 | 19 | 49 | 26-27/02/2019 |
| P03 | 17 | 36 | 28-29/02/2019 |
| P04 | 19 | 41 | 28-97/02/2019 |
| P05 | 18 | 47 | 5-6/03/2019 |
| P06 | 17 | 53 | 7-9/03/2019 |
| P07 | 18 | 61 | 7-9/03/2019 |
| P08 | 17 | 41 | 12/03/2019 |
| P09 | 24 | 50 | 12/03/2019 |
| P10 | 21 | 51 | 14/03/2019 |
| P11 | 20 | 40 | 19/03/2019 |
| P12 | 19 | 45 | 19/03/2019 |
| P13 | 20 | 29 | 25/03/2019 |
| P14 | 21 | 46 | 28/03/2019 |
| P15 | 21 | 33 | 28/03/2019 |
| Promedio | 19.27 | 45.33 | |
| DE | 1.94 | 8.89 | |

EMV= Escala de Matutinidad y Vespertinidad, puntajes bajos indican una tendencia trasnochadora y puntajes alto, una tendencia madrugadora. DE= Desviación Estándar.

Tabla 2. Promedios de horas de inicio, término y duración del dormir de los participantes

| Participante | Inicio (h:min) | | Fin (h:min) | | Duración (h:min) | |
|-----------------|----------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|
| | ES | FS | ES | FS | ES | FS |
| P01 | 23:32 | 23:05 | 07:36 | 07:10 | 9:04 | 8:05 |
| P02 | 01:34 | 02:12 | 09:02 | 10:05 | 7:19 | 7:52 |
| P03 | 23:53 | 00:27 | 07:50 | 09:53 | 7:57 | 9:27 |
| P04 | 23:56 | 23:45 | 09:32 | 09:53 | 9:37 | 10:08 |
| P05 | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| P06 | 23:50 | 00:14 | 07:16 | 08:36 | 7:26 | 8:21 |
| P07 | 00:41 | 00:25 | 08:16 | 10:22 | 7:39 | 9:57 |
| P08 | 23:38 | 00:38 | 06:51 | 08:47 | 7:21 | 8:09 |
| P09 | 23:57 | 23:36 | 07:19 | 07:23 | 7:22 | 7:47 |
| P10 | 00:34 | 01:51 | 09:00 | 09:08 | 8:26 | 7:17 |
| P11 | 23:07 | 23:25 | 06:59 | 10:00 | 7:52 | 9:15 |
| P12 | 23:52 | 01:00 | 06:41 | 10:15 | 6:49 | 9:15 |
| P13 | 23:57 | 00:24 | 07:27 | 08:12 | 7:40 | 7:51 |
| P14 | 00:30 | 01:00 | 07:37 | 10:50 | 6:53 | 9:50 |
| P15 | 23:54 | 00:32 | 09:08 | 10:15 | 9:13 | 9:43 |
| Promedio | 00:02 | 00:48 | 07:56 | 09:11 | 7:54 | 08:42 |
| DE | 01:13 | 01:43 | 01:30 | 01:49 | 1:35 | 2:04 |

ES= Entre semana, FS= Fin de semana, DE= Desviación estándar. Se presentan los promedios de dos semanas de auto registro del ciclo vigilia-sueño, 10 días ES y 4 días FS. Uno de los participantes (P05) fue descartado de los análisis debido a que no fue posible mantener constante la temperatura ambiental en su registro.

Temperatura rectal

Esta variable representa un indicador fisiológico del sistema temporal circadiano. De los 15 registros iniciales, uno de ellos (P05) fue excluido del análisis de datos debido a que no se pudo mantener la temperatura ambiental constante a 24°C. La temperatura rectal de los 14 participantes restantes presentó variaciones a lo largo del registro ($F=11.22$, $p<0.001$). De acuerdo con el análisis Cosinor, la acrofase promedio fue a las 16:46±02:13 h (%R=77.56 ±15.91, $p<0.001$) (Tabla 3). De acuerdo con el intervalo de confianza del 95%, la temperatura rectal promedio fue más alta a las 16:46 h, con un rango desde las 15:30 h a las 18:03 h, con 5 participantes con una acrofase similar al promedio (P01, P03, P04, P06 y P10), 5 con una acrofase adelantada (P07, P08, P12, P13 y P14) y 4 con una acrofase retrasada (P02, P09, P11 y P15). Las gráficas por participante aparecen en la Figura 13.

Tabla 3. Acrofases de la temperatura rectal obtenida por el análisis Cosinor.

| Participante | Mesor °C | Amplitud °C | Acrofase (h:min) | Ajuste sinusoidal (%R) | |
|-----------------|--------------|----------------|---------------------|---------------------------|-----|
| P01 | 36.39 | 0.46 | 17:48 | 84.00% | *** |
| P02 | 36.35 | 0.57 | 19:12 | 94.00% | *** |
| P03 | 37.22 | 0.43 | 16:30 | 40.60% | *** |
| P04 | 37.06 | 0.38 | 16:58 | 66.70% | *** |
| P05 | | | Sin registro | | |
| P06 | 37.04 | 0.29 | 16:30 | 52.20% | *** |
| P07 | 36.96 | 0.28 | 14:45 | 85.70% | *** |
| P08 | 36.90 | 0.35 | 13:31 | 90.50% | *** |
| P09 | 36.34 | 0.61 | 19:04 | 73.70% | *** |
| P10 | 37.00 | 0.17 | 17:18 | 89.20% | *** |
| P11 | 37.36 | 0.16 | 20:10 | 69.80% | *** |
| P12 | 37.19 | 0.19 | 15:21 | 85.30% | *** |
| P13 | 36.79 | 0.42 | 13:57 | 95.90% | *** |
| P14 | 37.13 | 0.26 | 14:11 | 80.80% | *** |
| P15 | 36.91 | 0.38 | 19:35 | 77.50% | *** |
| Promedio | 36.90 | 0.35 | 16:46 | 77.56 | |
| DE= | 0.33 | 0.14 | 02:13 | 15.91 | |

* $p<0.05$, ** $p<0.005$, *** $p<0.001$

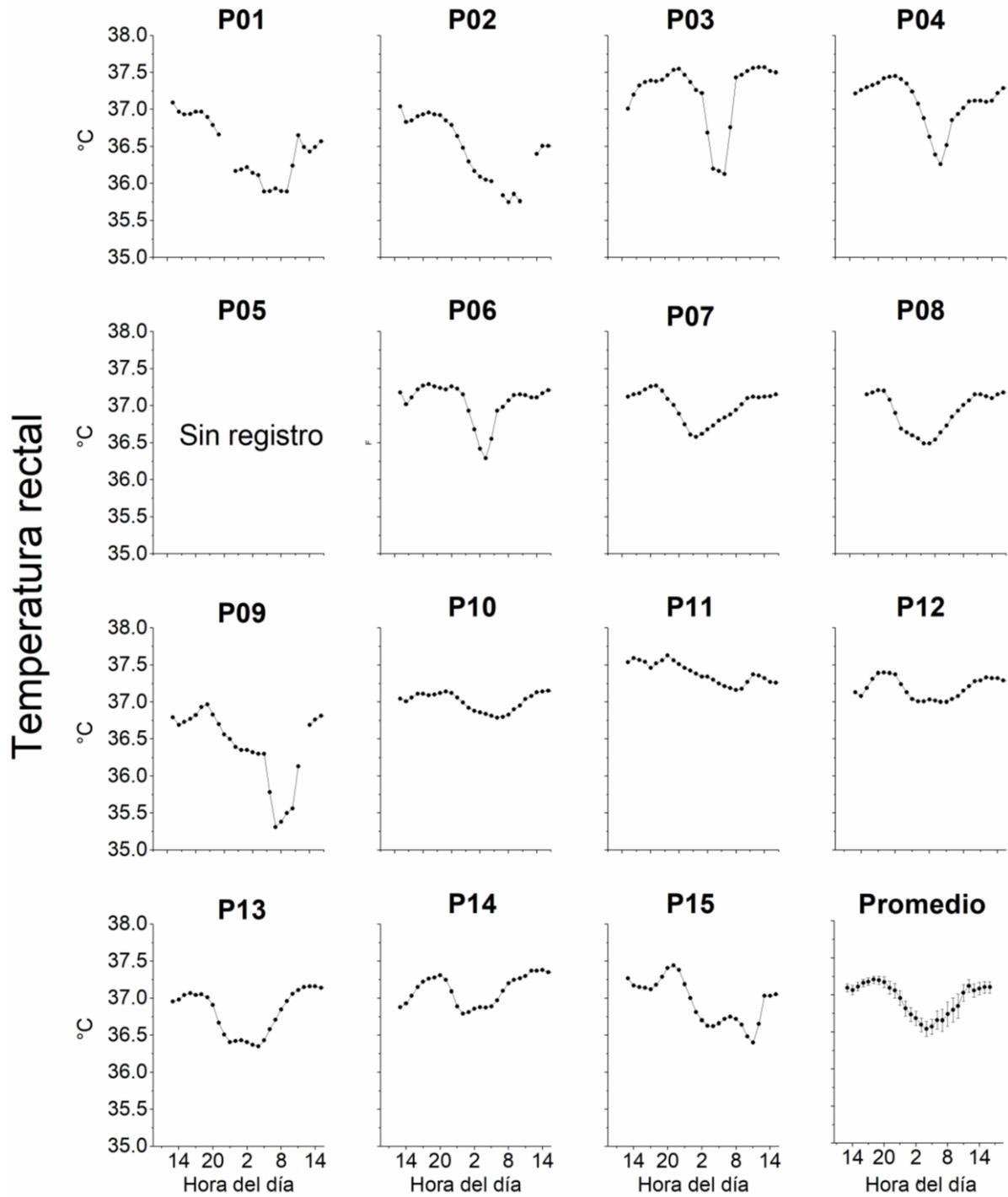


Figura 13. Temperatura rectal de los 14 participantes con registro. El eje vertical corresponde a la temperatura rectal en grados Celsius (°C), mientras que el eje horizontal representa la hora del día. Los registros de P05 no fueron analizados

Somnolencia y cansancio

En relación con la somnolencia, se presentó un aumento progresivo conforme se incrementaron las horas sin dormir ($r=0.94$, $p<0.001$). Durante las primeras horas de registros, se presentaron valores de 0 a 1 cm en la EVA, mientras que en las últimas horas se reportaron niveles cercanos a 7 cm. Después de sustraer la regresión lineal, se encontraron diferencias a lo largo del registro ($F=7.10$, $p<0.001$). El análisis Cosinor reveló un patrón circadiano en la somnolencia con un menor nivel en promedio a las $18:37\pm 02:27$ h ($\%R=56.67\pm 18.70$, $p<0.001$), ocurriendo en fase con el ritmo de la temperatura rectal (Figura 14) ($T=-2.02$, $p=0.07$).

Por otro lado, el cansancio también incrementó conforme transcurrieron las horas en vigilia ($r=0.97$, $p<0.001$). Durante las primeras horas, se reportaron valores de 0 a 1 cm en la EVA, mientras que en las últimas horas de registro se obtuvieron valores superiores a 7 cm. Al restar esta regresión lineal, se observaron variaciones en el cansancio ($F=6.50$, $p<0.001$). Además, el análisis Cosinor reveló un patrón circadiano con una menor sensación de cansancio en promedio a las $18:18\pm 02:43$ h ($\%R=60.25\pm 22.08$, $p<0.001$), manteniéndose en fase con la temperatura rectal (Figura 14) ($T=-1.37$, $p=0.20$). En conjunto, las dos variables subjetivas presentaron variaciones homeostáticas y circadianas relacionadas con las variaciones en la temperatura rectal, el indicador fisiológico del sistema temporal circadiano.

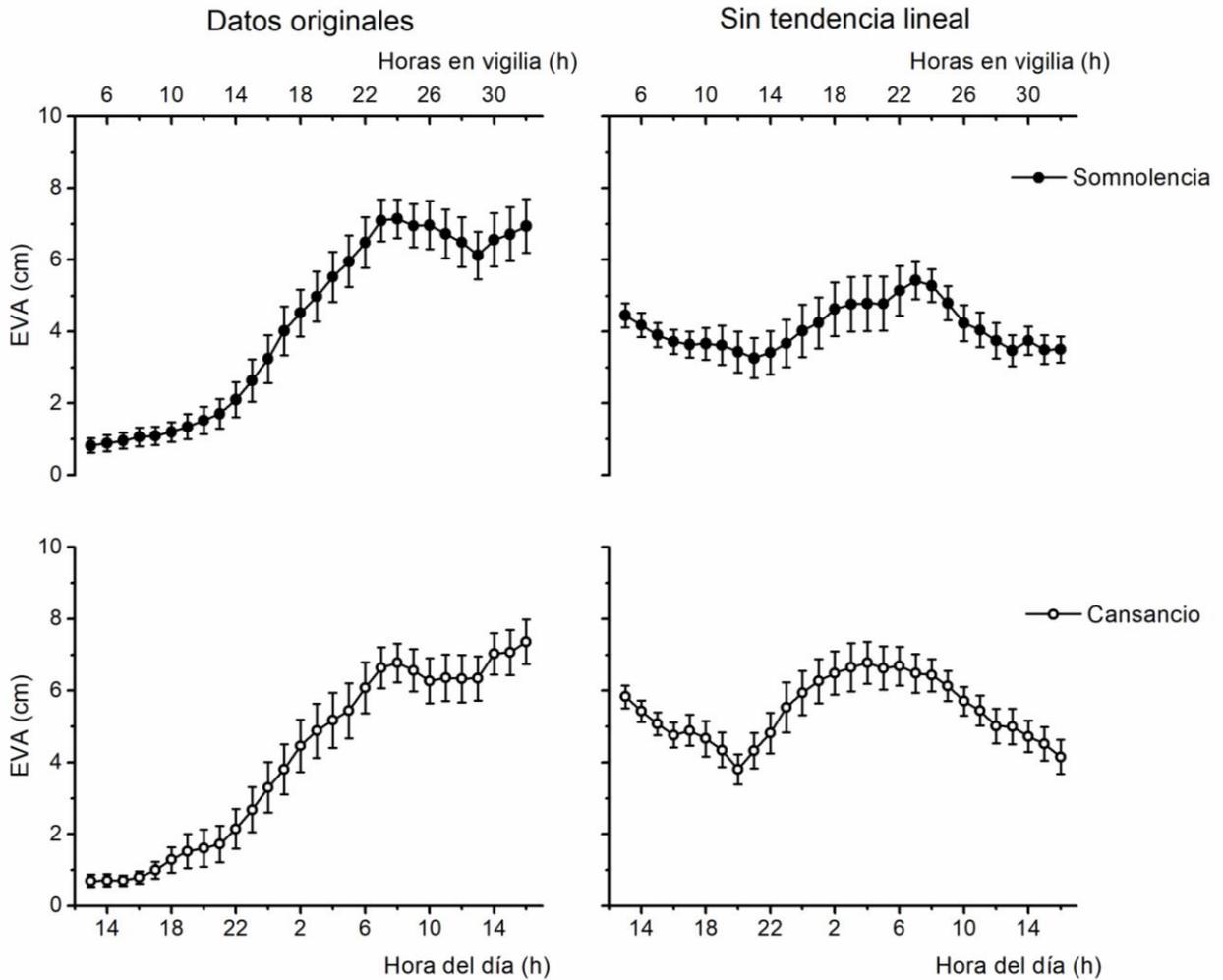


Figura 14. Somnolencia y cansancio promedio de los participantes. Los datos de la izquierda fueron analizados con una regresión lineal para identificar los efectos de la acumulación de horas en vigilia (factor homeostático). Las gráficas de la derecha corresponden a los datos después de restar la regresión lineal, los cuales fueron analizados con un ANOVA de medidas repetidas y con la prueba de Cosinor simple de 24 h para identificar posibles efectos de la hora del día (factor circadiano).

Presentación Visual Serial Rápida

Las respuestas al E1 y el E2 fueron analizadas en todos sus intervalos de separación y estos resultados se resumen en las Figuras 15, 16 y 17, y en la Tabla 4. Los parámetros del PA relevantes en el presente estudio fueron: a) el porcentaje de respuestas correctas al E1, b) el porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalo de 100 ms, c) el porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalo de 200 ms, c) el porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalo de 1600 ms, d) el porcentaje de inversiones de orden a los 100 ms, e) el porcentaje de inversiones de orden entre 200-1600 ms.

El porcentaje de respuestas correctas en E1 representa un indicador de la respuesta a un solo evento o de alerta general. Estas respuestas disminuyeron conforme se incrementaron las horas en vigilia ($r=-0.77$, $p<.001$). Durante las primeras horas en vigilia y hasta las 22:00 h, la eficiencia para responder al E1 fue alta (alrededor del 90%), mientras que en los últimos registros la eficiencia se redujo hasta el 75% aproximadamente, reflejando un deterioro progresivo en la capacidad para responder a un solo evento.

Además, al restar esta tendencia lineal, se encontraron variaciones en la respuesta al E1 ($F=10.32$, $p<0.001$). El análisis Cosinor reveló una dispersión circadiana, con un mayor nivel de eficiencia en promedio a las $17:32\pm 01:43$ h ($\%R=49.42\pm 14.87$, $p<0.001$). No se encontraron diferencias al comparar la fase de este indicador con la fase de la temperatura rectal, por lo que las variaciones en la eficiencia para responder al E1 ocurrieron en fase respecto a las variaciones en la temperatura rectal ($T=-0.98$, $p=0.34$). Estos datos reflejan que la eficiencia para responder a un solo evento es

mejor durante las horas diurnas cuando hay pocas horas en vigilia y una temperatura rectal alta, mientras que durante la noche y las primeras horas de la mañana esta capacidad se reduce conforme se acumulan las horas sin dormir y disminuye la temperatura rectal.

La eficiencia para responder al E2 en el intervalo de 100 ms fue un indicador del fenómeno de exención en el primer intervalo. La eficiencia para responder en este intervalo disminuyó conforme se incrementó el tiempo en vigilia ($r=-0.83$, $p<0.001$). Durante las primeras horas del registro, y hasta las 22:00 h, la eficiencia se mantuvo en sus niveles más altos (entre 70-75%), y posteriormente se redujo hasta alrededor del 50% en los últimos registros, reflejando un deterioro progresivo en la eficiencia conforme incrementaron las horas en vigilia. Asimismo, el fenómeno de exención característico del primer intervalo se presentó durante los primeros registros pero dejó de presentarse aun con pocas horas en vigilia y durante el día, lo que puede observarse en una reducción en la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 100 ms, llegando a niveles similares a los del intervalo de PA a partir del registro de las 18:00 h.

Después de restar esta regresión lineal, el análisis ANOVA reveló variaciones en la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 100 ms ($F=2.43$, $p<0.01$). Además, el análisis Cosinor indicó un patrón circadiano con una acrofase promedio a las $18:52\pm 05:38$ h ($\%R=54.10\pm 16.70$, $p<0.01$). Finalmente, no se encontraron diferencias en la acrofase de la eficiencia en este parámetro en comparación con la acrofase de la temperatura rectal ($T=-1.79$, $p=0.12$), reflejando que la eficiencia para responder al

E2 con intervalo de 100 ms es mejor durante el día y con pocas horas en vigilia, de forma similar a las variaciones en las respuestas correctas al E1.

El porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalo de 200 ms se incluyó como un indicador del PA. La eficiencia para responder en este intervalo se redujo después del incremento de las horas en vigilia ($r=-0.72$, $p<0.005$). Durante las primeras horas despiertos, la eficiencia de los participantes en este intervalo fue cercana al 65%, mientras que conforme se acumularon las horas sin dormir, se presentaron niveles ligeramente más bajos, alrededor del 55%, reflejando un deterioro leve y progresivo cuando hay más horas en vigilia.

Además, se encontraron variaciones en las respuestas al E2 con intervalo de 200 ms al restar la tendencia lineal ($F=4.53$, $p<0.001$). El análisis Cosinor reveló una dispersión circadiana en esta variable, con una acrofase promedio a las $17:32\pm 06:02$ h ($\%R=63.80\pm 17.62$, $p<0.001$), hora que coincide con la acrofase de la temperatura rectal ($T=-1.38$, $p=0.22$). Estos datos revelan que la capacidad para responder correctamente al E2 con intervalo de 200 ms se deteriora por la influencia de los factores homeostáticos y circadianos como se ha reportado en los parámetros anteriores.

El porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalo de 400 ms representa otro indicador de respuestas a un segundo evento durante el intervalo de PA. La eficiencia para responder en este intervalo tuvo un deterioro progresivo conforme incrementaron de las horas en vigilia ($r=-0.68$, $p<0.01$). Durante las primeras horas del registro, con pocas horas sin dormir, la eficiencia para responder fue de alrededor del 70% mientras después de 16 horas sin dormir se presentaron niveles de eficiencia cercanos al 50%.

Al restar la tendencia lineal de estos datos, se encontraron variaciones en la capacidad para responder al E2 de 400 ms ($F=7.34$, $p<0.001$). De acuerdo con el análisis Cosinor, los datos muestran un patrón circadiano, con una acrofase promedio a las $17:35\pm 02:03$ h ($\%R=61.10\pm 17.62$, $p<0.001$), que coincide con la acrofase de la temperatura rectal ($T=-1.51$, $p=0.17$). En conjunto, estos resultados sugieren variaciones homeostáticas y circadianas en este intervalo secundario del PA.

El porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalo de 600 ms representa la eficiencia en el intervalo posterior al PA. La eficiencia en este parámetro presentó un deterioro progresivo con la acumulación de las horas sin dormir ($r=-0.75$, $p<0.005$). Cuando los participantes tenían pocas horas sin dormir, la eficiencia fue superior al 75% mientras después de 16 horas sin dormir se redujo debajo del 60%.

Luego de restar la tendencia lineal, se encontraron variaciones en las respuestas correctas al E2 con intervalo de 600 ms ($F=7.89$, $p<0.001$). Además, el análisis Cosinor, reveló un patrón circadiano, con una acrofase promedio a las $18:09\pm 02:35$ h ($\%R=48.06\pm 15.40$, $p<0.01$). No se encontraron diferencias entre la hora de la acrofase de este parámetro al compararlo con la acrofase de la temperatura rectal ($T=-1.34$, $p=0.23$). Estos resultados en conjunto muestran variaciones homeostáticas y circadianas similares a las reportadas en todos los parámetros de la tarea de PVSR.

El porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalo de 800 ms representa la eficiencia en un intervalo largo luego del PA. La capacidad para responder a este parámetro disminuyó gradualmente conforme transcurrió el tiempo en vigilia ($r=-0.77$, $p<0.005$). En los primeros registros, con poco tiempo en vigilia, la eficiencia para

responder al E2 de 800 ms estuvo alrededor del 80%. En la medida que siguieron los registros y con más de 16 horas sin dormir la eficiencia no fue mayor del 65%.

Se encontraron variaciones en las respuestas correctas al E2 con intervalo de 800 ms luego de restar la tendencia lineal ($F=6.02$, $p<0.001$). Al aplicar el análisis Cosinor, se encontró una distribución circadiana, con una acrofase promedio a las $18:01\pm 04:13$ h ($\%R=53.77\pm 13.34$, $p<0.01$). De acuerdo con la prueba t de Student, no se presentaron diferencias entre la acrofase de la eficiencia del E2 con intervalo de 800 y la acrofase de la temperatura rectal ($T=-1.46$, $p=0.18$). Los datos sugieren variaciones homeostáticas y circadianas en este parámetro, como las reportadas en todos los parámetros de la tarea de PVSR en este experimento.

El porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalo de 1000 ms se redujo gradualmente con el incremento de horas en vigilia ($r=-0.83$, $p<0.005$). La eficiencia en este parámetro fue mayor al 80% durante los primeros registros, con pocas horas sin dormir. Sin embargo, luego de 16 horas sin dormir, la eficiencia se redujo hasta valores cercanos al 60%.

Luego de restar esta tendencia lineal, el análisis ANOVA reveló variaciones en la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 1000 ms a lo largo de los registros ($F=7.36$, $p<0.001$). Además, se observó un patrón circadiano en esta variable al aplicar el análisis Cosinor, con una acrofase promedio a las $17:54\pm 01:27$ h ($\%R=52.27\pm 13.71$, $p<0.01$), hora que coincide con la acrofase de la temperatura rectal ($T=-1.54$, $p=0.19$). Los resultados de este parámetro también sugieren variaciones debidas a los factores homeostático y circadiano.

El porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalo de 1200 ms representa un intervalo largo y posterior al PA. En este parámetro también presentó un deterioro progresivo con el incremento de horas en vigilia ($r=-0.71$, $p<0.005$). El nivel de eficiencia durante los primeros registros fue mayor al 80%, aunque con la acumulación de horas sin dormir, la eficiencia disminuyó debajo del 60%.

Además, al restar la tendencia lineal, se encontraron variaciones en este parámetro a lo largo de los registros ($F=9.92$, $p<0.001$). Asimismo, la dispersión de los datos presentó un patrón circadiano con una acrofase promedio a las $17:17\pm 02:21$ h ($\%R=48.60\pm 11.96$, $p<0.01$), ocurriendo en fase con la acrofase de la temperatura rectal ($T=-1.21$, $p=0.27$). En conjunto, como en los demás parámetros de la tarea de PVSR, los resultados sugieren variaciones con la acumulación de horas en vigilia y con la hora del día.

El porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalo de 1400 ms fue otro indicador de un intervalo largo luego del PA. Los aciertos en este intervalo disminuyeron de forma gradual con el aumento de las horas en vigilia ($r=-0.73$, $p<0.005$). La eficiencia en este parámetro fue cercana al 85% durante las primeras horas de registro y con pocas horas en vigilia, y disminuyó a valores alrededor del 60% en los últimos registros, luego del incremento de horas sin dormir.

Luego de sustraer la tendencia lineal, la prueba ANOVA reveló variaciones en la eficiencia para responder a este parámetro a lo largo de los registros ($F=5.62$, $p<0.001$). Además, al emplear el análisis Cosinor se encontró una dispersión circadiana con una acrofase promedio a las $17:12\pm 02:26$ h ($\%R=49.12\pm 25.35$, $p<0.01$), en una hora similar a la acrofase de la temperatura rectal ($T=-0.48$, $p=0.65$). Los

resultados de este parámetro sugieren también variaciones homeostáticas y circadianas.

El porcentaje de respuestas correctas a E2 en el intervalo de 1600 ms representó la respuesta a un segundo evento en un intervalo muy largo. Este indicador presentó un deterioro gradual conforme incrementaron las horas en vigilia ($r=-0.84$, $p<0.005$). Durante los primeros registros, con pocas horas en vigilia, la eficiencia se mantuvo cerca del 80%, mientras que los últimos registros, con la acumulación de horas sin dormir, se presentaron niveles alrededor del 60%.

Después de restar la regresión lineal, se encontraron variaciones en este parámetro ($F=6.61$, $p<0.001$), mientras que el análisis Cosinor reveló un patrón circadiano con una acrofase promedio a las $17:09\pm 02:43$ h ($\%R=46.24\pm 8.63$, $p<0.001$), hora que concuerda con la acrofase de la temperatura rectal ($T=0.10$, $p=0.92$). Por lo tanto, los resultados sugieren que la eficiencia para responder al E2 de 1600 ms también se modifica por influencia de los factores homeostático y circadiano.

El porcentaje de respuestas correctas al E2 en los intervalos de 200 y 1600 ms fue comparado en cada participante para evaluar el PA. Durante los primeros registros y hasta el registro de las 02:00 h, la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 1600 ms fue mayor que la del E2 de 200 ms, reflejando la ocurrencia del PA. Luego de este registro, la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 1600 disminuyó hasta ser similar a la del intervalo de 200 ms, reflejando una ausencia de la función clásica del PA en la que se observa una deficiencia general para responder al E2 en cualquier intervalo, con excepción del registro de las 10:00 h (Figura 9).

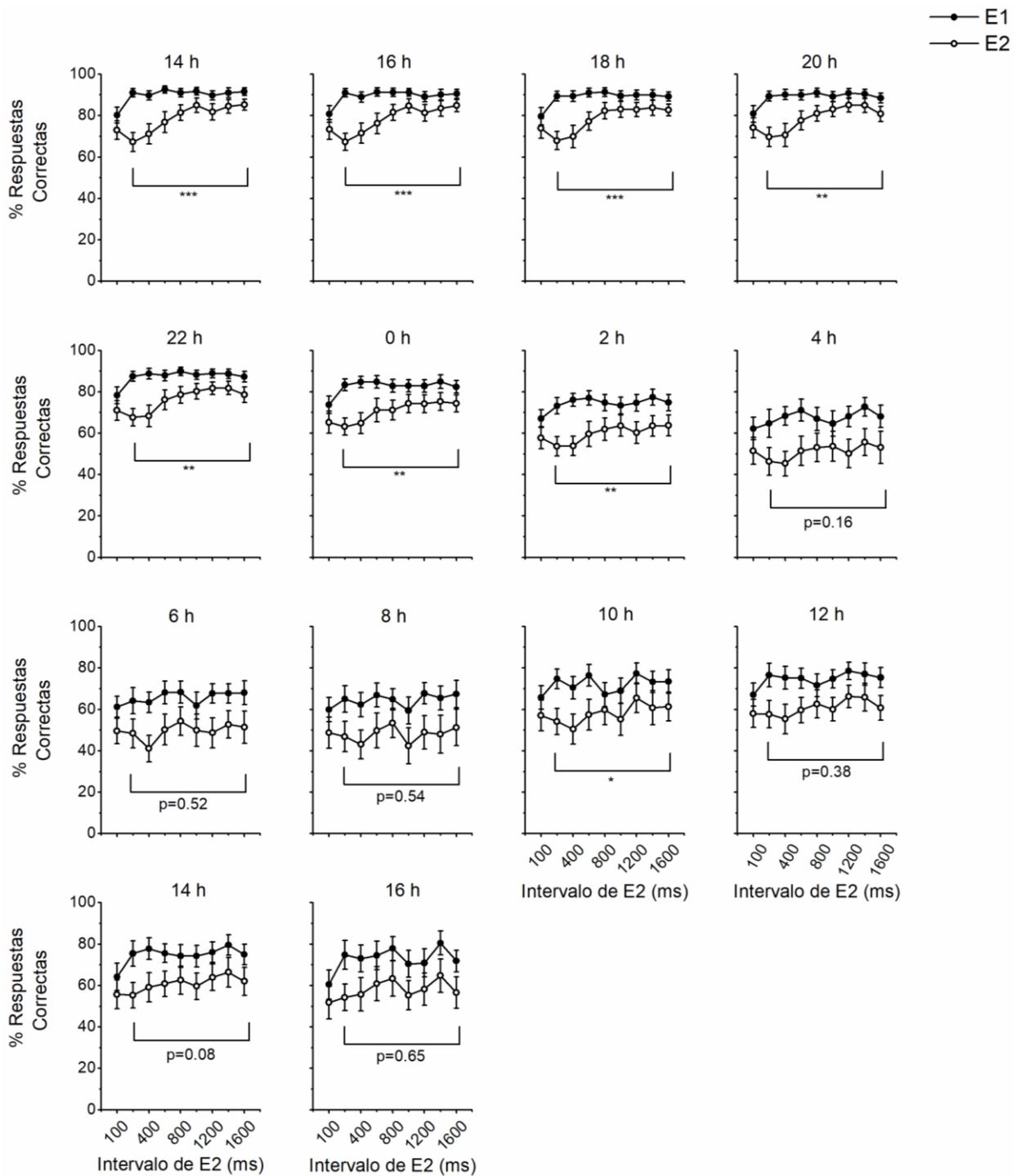


Figura 15. Eficiencia en la tarea de PVSR por registro. El eje vertical indica el porcentaje de respuestas correctas en la tarea y el eje horizontal representa cada uno de los intervalos en los que se presentó el E2 después del E1. Los círculos rellenos indican las respuestas al E1, mientras que los círculos vacíos representan las respuestas al E2. La eficiencia entre las respuestas al E2 de 200 y 1600 ms fueron comparadas con una prueba t de Student para muestras dependientes. Los valores de p de esta comparación aparecen señalados en corchetes * $p < 0.05$, ** $p < 0.005$, *** $p < 0.001$.

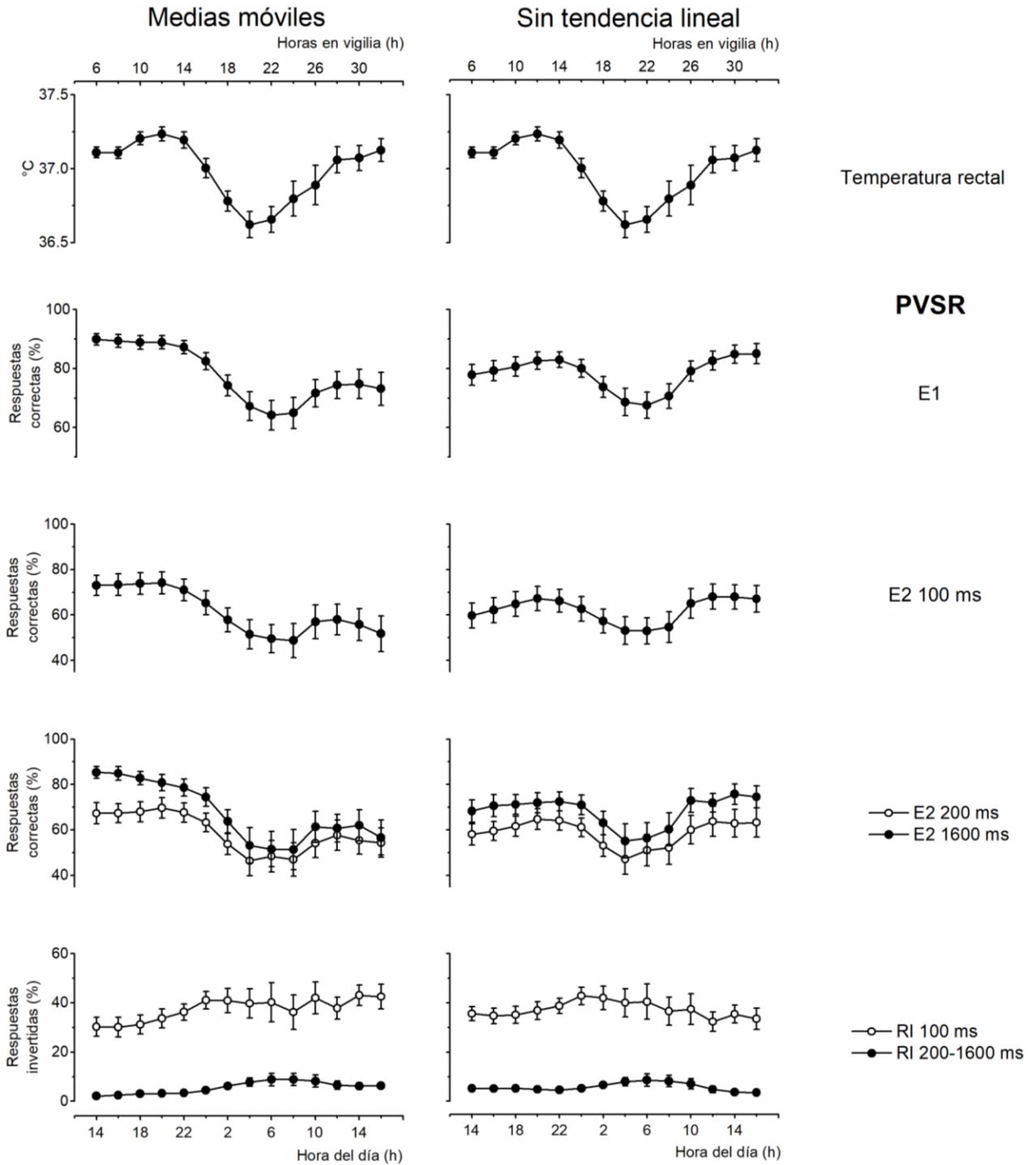


Figura 16. Eficiencia en la tarea de PVSR comparada con los datos de temperatura. Para los datos de temperatura, se muestran los datos suavizados con medias móviles en ambos lados. Para los datos de la tarea de PVSR, en la izquierda se presentan los datos suavizados con medias móviles a los que se les aplicó una regresión lineal para analizar el factor homeostático. A la derecha aparecen los datos después de restar la regresión lineal para analizar el factor circadiano con el análisis Cosinor. E1= Primer estímulo, E2= Segundo estímulo, RI= Respuestas invertidas.

El porcentaje de inversiones de orden en el intervalo de 100 ms se incluyó como otro indicador del fenómeno de exención en el primer intervalo. El porcentaje de respuestas invertidas fue mayor en el intervalo de 100 ms, respecto a los intervalos de 200-1600 ms en todos los registros. Las diferencias fueron calculadas con una prueba t de Student para muestras dependientes cuyos resultados se presentan en la Figura 17. Además, las respuestas invertidas a los 100 ms presentaron un incremento progresivo conforme aumentaron las horas en vigilia ($r=0.83$, $p<0.001$). En los primeros registros, con pocas horas en vigilia, se presentó un nivel cercano al 30 %, mientras que en los últimos registros, con la acumulación de horas sin dormir, se reportó un nivel cercano al 40%. Sin embargo, al restar la tendencia lineal, no se reportaron variaciones adicionales esta variable ($F=0.97$, $p=0.48$). Estos datos sugieren que las respuestas invertidas presentan cambios debido al tiempo acumulado en vigilia.

El porcentaje de respuestas invertidas en los intervalos de 200-1600 ms se incluyó debido a su nivel reducido de respuestas invertidas. Estas respuestas presentaron un incremento progresivo conforme el aumento de las horas en vigilia ($r=0.78$, $p<0.01$). Durante los primeros registros, se observó un porcentaje alrededor del 3% y mientras que en los últimos registros se presentó un incremento hasta cerca del 6%. Además, al restar la tendencia lineal, se encontraron variaciones a lo largo de los registros ($F=4.48$, $p<0.001$). El análisis Cosinor reveló una batifase promedio a las $17:21\pm 02:12$ h ($\%R=54.66\pm 12.32$, $p<0.005$), hora del día que concuerda con la acrofase de la temperatura rectal ($T=-0.15$, $p=0.29$), por lo que, estos resultados sugieren variaciones homeostáticas y circadianas las respuestas invertidas en los intervalos de 200-1600 ms.

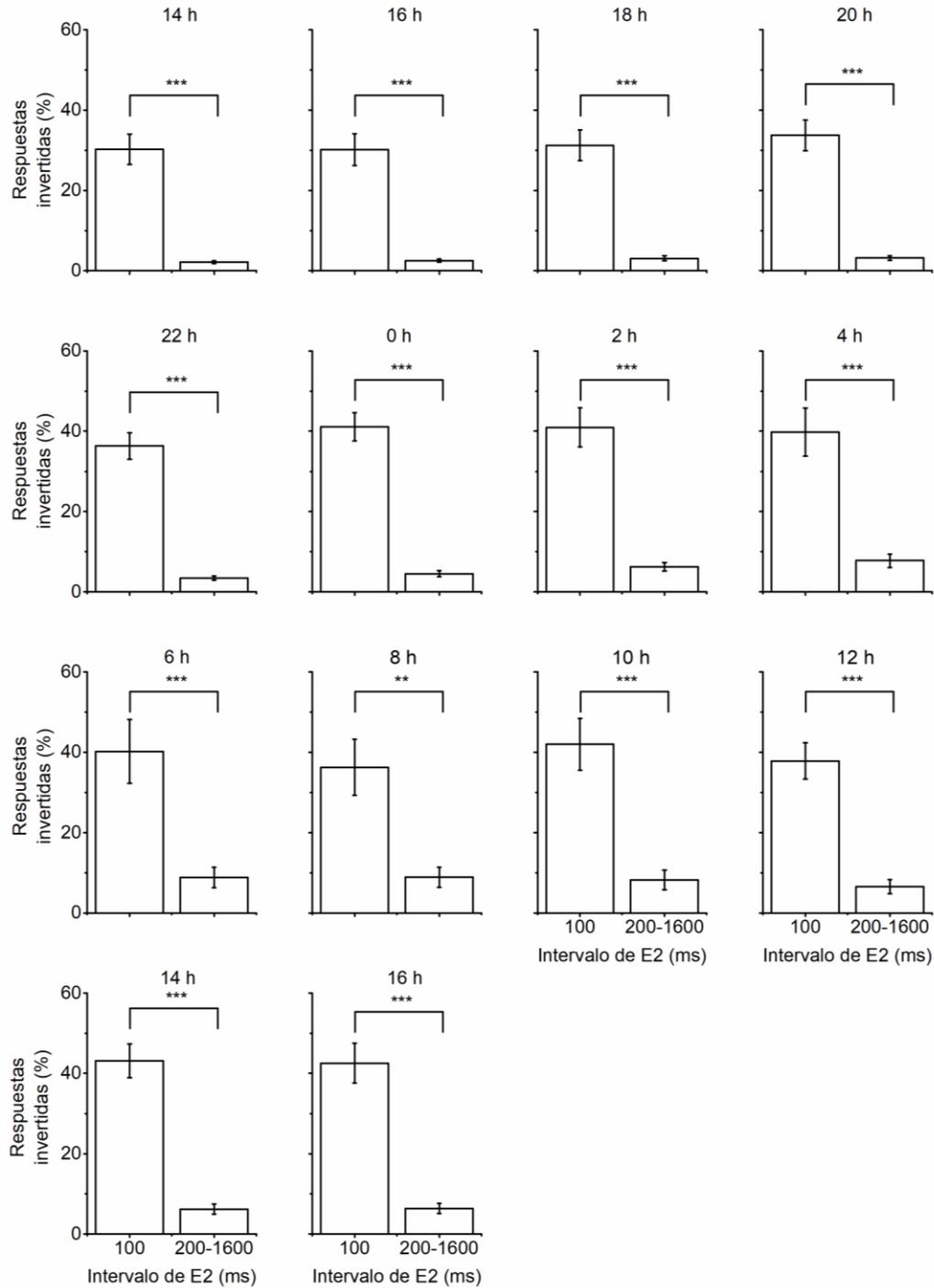


Figura 17. Promedio de respuestas invertidas por hora. El eje vertical indica el porcentaje de respuestas invertidas y el eje horizontal aparecen los intervalos de E2, uno de 100 ms y el promedio del resto de los intervalos (200-1600 ms). Las diferencias entre ambos intervalos fueron calculadas con una prueba t de Student para muestras dependientes. Los valores de p de esta comparación aparecen señalados en corchetes ** $p < 0.005$, *** $p < 0.001$.

En conjunto, las variaciones del PA (E2 con intervalos entre 100-800 ms) coinciden con lo reportado anteriormente en un protocolo de rutina constante. Asimismo, los datos del primer indicador del límite atencional en este estudio (E2 con intervalo de 1600 ms) revelaron variaciones homeostáticas y circadianas, que fueron similares a las variaciones en los demás parámetros del PA, la somnolencia y el cansancio, y la temperatura rectal. Además, estas variaciones se caracterizaron por un deterioro general en la respuesta al E2 ya que la eficiencia para responder al E2 con intervalo de 1600 llegó a ser tan baja como la registrada en el intervalo de PA (E2 con intervalo de 200 ms). Por otro lado, el porcentaje de inversiones de orden a los 100 ms solamente presentó variaciones homeostáticas y se mantuvo en niveles altos, mientras que el porcentaje de inversiones en los intervalos de 200-1600 ms fue muy bajo y presentó variaciones homeostáticas y circadianas similares a las reportadas en los parámetros de eficiencia en la tarea de PVSR.

Tarea de Memoria Icónica

El resumen de los resultados de la TMI se presenta en las Figuras 18 y 19, y en la Tabla 4. El porcentaje de respuestas correctas en el IEE de 50 ms se incluyó como un indicador de un intervalo temprano de la memoria icónica. Este parámetro se mantuvo constante conforme incrementaron las horas en vigilia ($r=-0.20$, $p=0.50$). El nivel de aciertos en este parámetro fue de alrededor del 65% durante todo el registro, incluso con la acumulación de horas en vigilia. Además, tampoco se encontraron variaciones con la ANOVA de medidas repetidas ($F=1.18$, $p=0.30$). Debido a esta ausencia de variabilidad en los datos no se realizó el análisis Cosinor.

El porcentaje de respuestas correctas en el IEE de 500 ms fue registrado como un indicador de un intervalo tardío de la memoria icónica. La eficiencia en estas respuestas disminuyó con el incremento de las horas en vigilia ($r=-0.70$, $p<0.005$). En los primeros registros, con menos de 16 horas en vigilia, se presentó una eficiencia alrededor del 67%, mientras que en los últimos registros, con una acumulación de horas sin dormir, se observó una eficiencia cercana al 60%.

Al restar esta regresión lineal, se encontraron variaciones a lo largo de los registros ($F=5.38$, $p<0.001$). Además, el análisis Cosinor reveló una acrofase promedio a las 17:23±02:36 h ($\%R=60.60\pm24.56$, $p<0.005$), horario similar a la acrofase de temperatura rectal ($T=-1.15$, $p=0.29$), por lo que estos resultados sugieren variaciones homeostáticas y circadianas en este parámetro de la TMI.

Las respuestas correctas al IEE de 3000 ms fueron registrados al ser un intervalo posterior al de la memoria icónica. Estas respuestas presentaron un deterioro progresivo conforme incrementaron las horas en vigilia ($r=-0.59$, $p<0.05$). Al inicio de los registros, se mantuvo una eficiencia cercana al 50%, mientras que en los últimos registros la eficiencia fue menor de 45%.

Luego de restar la regresión lineal, el análisis ANOVA reveló variaciones en este parámetro ($F=4.20$, $p<0.001$), y usando el análisis Cosinor se obtuvo un patrón circadiano con una acrofase promedio a las a las $18:45\pm 06:20$ h ($\%R=61.17\pm 17.87$, $p<0.005$), momento del día que coincide con la acrofase de la temperatura rectal ($T=-0.72$, $p=0.49$). Estos datos sugieren variaciones homeostáticas y circadianas en la eficiencia en estas respuestas.

En cada sesión, la eficiencia para responder al IEE de 50 ms y al de 500 ms fue superior a la del IEE de 3000 ms. Estas diferencias indican que el fenómeno de memoria icónica ocurrió en todos los registros. Además, no se encontraron diferencias entre la eficiencia para responder a los IEE de 50 y de 500 ms sino hasta las 08:00 h y de 12:00-16:00 h del segundo día de registros, registros en los que los aciertos al IEE de 500 fueron menores que las del IEE de 50 ms. La comparación entre la eficiencia en los intervalos de la TMI fue hecha con una prueba t de Student para muestras dependientes y los resultados aparecen en la Figura 16.

Los resultados del segundo indicador del límite atencional (IEE 50 y 500 ms), presentaron diferentes resultados. Por un lado, el intervalo inicial de la memoria icónica no presentó cambios relacionados con la acumulación de horas sin dormir o la hora del día. Por otro lado, los datos del intervalo tardío de la memoria icónica sugieren

variaciones homeostáticas y circadianas similares a las variaciones en la tarea de PVSR, la somnolencia y el cansancio, y la temperatura rectal. Las variaciones en la memoria icónica se caracterizaron por una capacidad en general limitada durante el día, con una eficiencia menor del 70% que se reduce por efecto de los factores homeostático y circadiano alcanzando niveles cercanos al 60%, siendo una reducción leve, aunque sigue siendo superior a la eficiencia en los intervalos de 3000 ms.

El resumen de las variaciones homeostáticas y circadianas en la temperatura rectal, la somnolencia, el cansancio y el límite atencional (eficiencia en PVSR y TMI) se presenta en la Tabla 4.

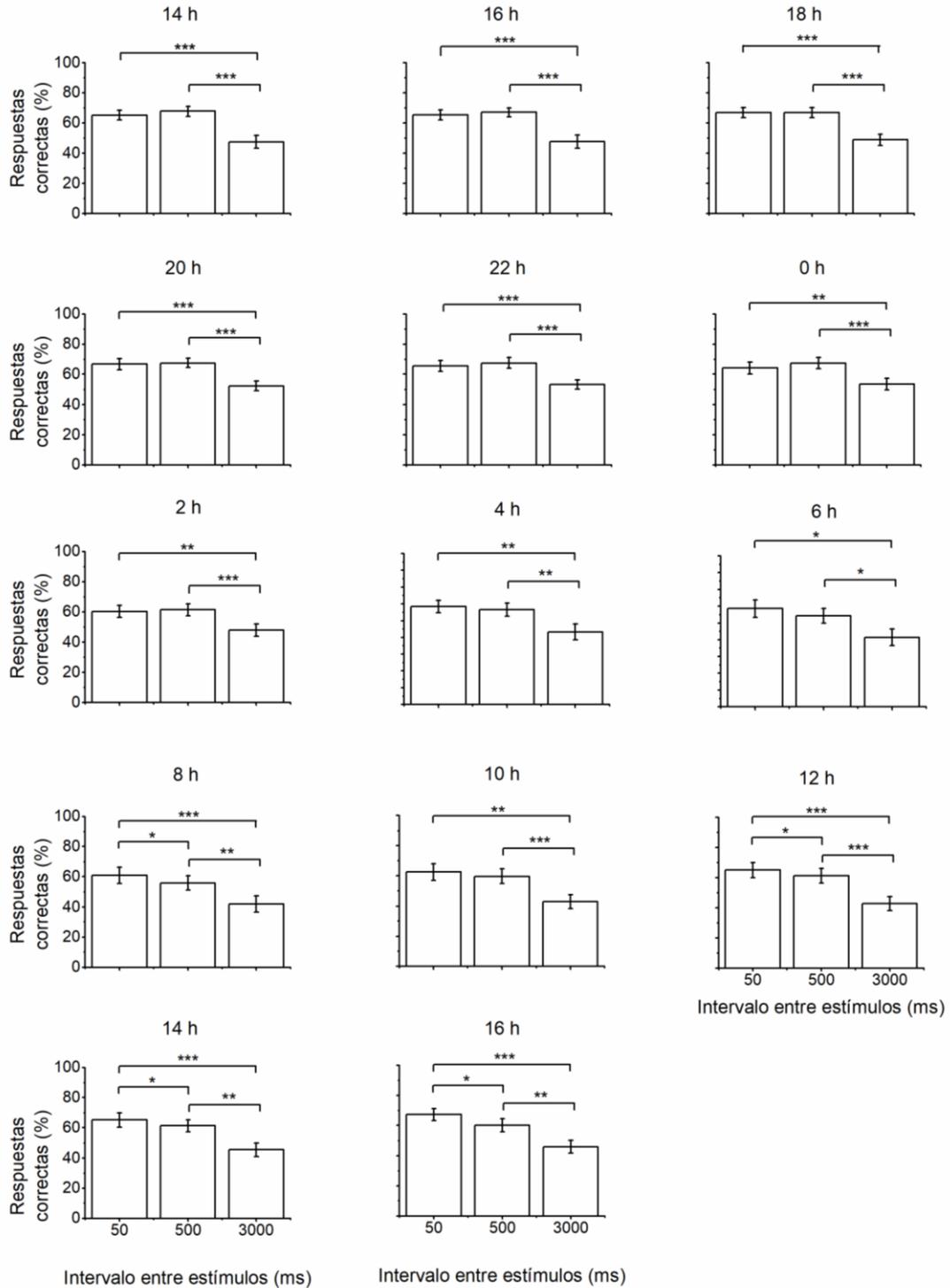


Figura 18. Eficiencia en la TMI por hora. El eje vertical indica el porcentaje de respuestas correctas y el eje horizontal cada uno de los intervalos en los que apareció la señal visual en la TMI. La eficiencia entre los diversos intervalos fue comparada con una prueba t de Student para muestras dependientes. Los valores de p de esta comparación aparecen señalados en corchetes * $p < 0.05$, ** $p < 0.005$, *** $p < 0.001$.

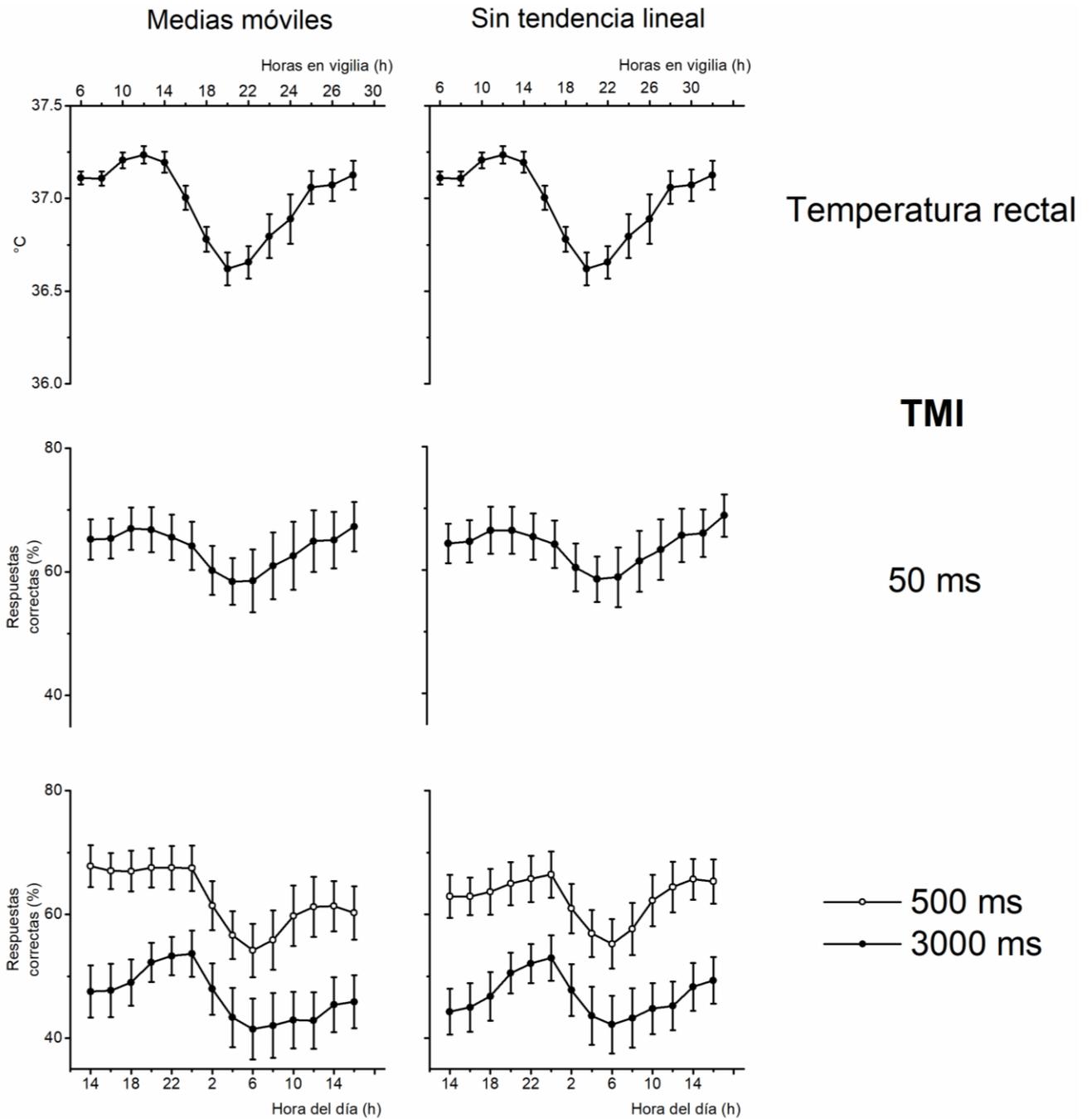


Figura 19. Eficiencia en la TMI comparada con los datos de temperatura. Los datos de medias móviles de temperatura se muestran en ambos lados. Para los datos de la TMI se presentan en la izquierda los datos de medias móviles y a la derecha aparecen los datos después de restar la regresión lineal.

Tabla 4. Análisis estadístico de la temperatura rectal, la somnolencia, el cansancio y las respuestas a las tareas de PVSR y TMI.

| | | Regresión lineal (Factor homeostáti- co) | F | Análisis Cosinor de la fase circadiana (h:min) | %R | Diferencia de fase respecto a la acrofase de temperatura rectal (h:min) | t |
|------------------------|-----------------------|--|----------|--|----------------|--|-------|
| Medida fisiológica | Temperatura rectal | 0.01 | 11.22*** | 16:46±03:13 | 77.56±15.91*** | | |
| Medidas subjetivas | Somnolencia | 0.94*** | 7.10*** | 18:37±02:27 | 56.67±18.70*** | 01:49±03:07 | -2.02 |
| | Cansancio | 0.97*** | 6.50*** | 18:18±02:43 | 60.25±22.08*** | 01:30±03:39 | -1.37 |
| Eficiencia PVSR | | | | | | | |
| E1 | (promedio) | -0.77** | 10.32*** | 17:32±01:43 | 49.42±14.87** | 00:45±02:44 | -0.98 |
| E2 | 100 ms | -0.83*** | 2.43** | 18:52±04:38 | 54.10±16.69** | 03:20±05:16 | -1.79 |
| | 200 ms | -0.72** | 4.53** | 18:55±05:47 | 44.00±18.50** | 02:12±04:14 | -1.38 |
| | 400 ms | -0.68** | 7.34*** | 17:35±02:03 | 44.59±14.69** | 01:39±03:16 | -1.51 |
| | 600 ms | -0.75** | 7.89*** | 18:09±02:35 | 48.06±15.40** | 01:18±02:35 | -1.34 |
| | 800 ms | -0.77** | 6.02*** | 18:01±04:13 | 53.77±13.34** | 01:40±03:26 | -1.46 |
| | 1000 ms | -0.83*** | 7.36*** | 17:54±01:27 | 52.27±13.71** | 01:49±02:54 | -1.54 |
| | 1200 ms | -0.71** | 9.92*** | 17:17±02:21 | 48.60±11.96** | 01:10±02:44 | -1.21 |
| | 1400 ms | -0.73** | 5.62*** | 17:12±02:26 | 49.12±25.35** | 00:27±02:57 | -0.48 |
| | 1600 ms | -0.84*** | 6.61*** | 17:09±02:43 | 46.24±8.63** | 00:08±03:31 | 0.10 |
| | Inversión de orden | 100 ms | 0.83*** | 0.48 | --- | --- | --- |
| | 200-1600 ms | 0.78*** | 4.48*** | 17:21±02:12 | 54.66±12.35** | 01:33±05:30 | -0.15 |
| TMI | | | | | | | |
| IEE | 50 ms | -0.20 | 1.18 | --- | --- | --- | --- |
| | 500 ms | -0.70** | 5.38*** | 17:23±02:36 | 60.60±24.56** | 01:26±03:20 | -1.15 |
| | 3000 ms | -0.59* | 4.20*** | 18:15±06:20 | 61.17±17.87** | 01:41±07:22 | -0.72 |

Los valores presentados son promedios ± desviaciones estándar. F = Prueba ANOVA de medidas repetidas, %R = porcentaje de ajuste a una onda sinusoidal, t = Prueba de t de Student de muestras dependientes, PVSR= Presentación Visual Serial Rápida, TMI= Tarea de Memoria icónica, IEE= Intervalo entre estímulos.

*p < 0.05; **p < 0.01; ***p < 0.001.

CAPÍTULO V. *DISCUSIÓN*

El objetivo principal de este trabajo fue identificar posibles variaciones homeostáticas y circadianas en el límite atencional a través de la evaluación de dos fenómenos: la respuesta a un segundo evento presentado con un intervalo muy largo (1600 ms) y la memoria icónica. En general, en la tarea de PVSR se observaron cambios en la mayoría de los parámetros del PA a causa de la acumulación de horas en vigilia (factor homeostático), y de la hora del día (factor circadiano). En cambio, en la memoria icónica se encontraron efectos diversos para los parámetros evaluados con la TMI. A continuación, se abordan los resultados en los parámetros de ambas tareas.

El primer parámetro del PA analizado fueron las respuestas correctas al E1, que representaron una línea base de la capacidad para responder a un solo estímulo de forma independiente (MacLean y Arnell, 2012). Los resultados de este estudio mostraron que la capacidad para responder a un solo evento presentó variaciones homeostáticas, caracterizadas por una alta capacidad en los primeros registros y una reducción conforme se incrementó el tiempo en vigilia. Además, las variaciones circadianas en la alerta se manifestaron en un nivel más alto en horas diurnas y hasta las 22:00 h. Después de esta hora, se presentó un deterioro progresivo en las respuestas correctas, con un nivel más bajo entre 04:00-08:00 h y una recuperación entre las 10:00-12:00 h, a pesar del incremento en la acumulación de horas en vigilia.

Las variaciones encontradas en el presente estudio concuerdan con las variaciones reportadas en la atención, especialmente en el componente de alerta tónica, que implica una capacidad general para responder al ambiente (Valdez, Ramírez et al., 2005). Asimismo, las variaciones homeostáticas y circadianas en el presente estudio también coinciden con un reporte previo sobre variaciones en las respuestas a un solo evento en una tarea de PVSR, en el que se sugiere que estas ocurren debido una reducción en la alerta tónica (Gallegos et al., 2019).

Los datos del presente estudio difieren de un estudio reciente sobre los efectos de la reducción de sueño en el PA en el que la capacidad para responder al E1 se mantiene eficiente (Shenfield et al., 2020). En el protocolo de restricción de sueño empleado en el experimento de Shenfield et al. (2020), se evaluó a los participantes en una condición de con 7-8 h de sueño, y en una condición con 5 h. Los participantes redujeron su dormir en sus casas y luego fueron registrados al día siguiente a las 14:00 h en una única sesión.

Por otro lado, el protocolo de rutina constante empleado en el experimento de la presente tesis, los participantes permanecieron todo el experimento despiertos y activos en el laboratorio, siendo registrados en diferentes horas. Por lo tanto, es posible que la restricción de sueño del estudio de Shenfield et al. (2020) no fuera suficiente para ocasionar un deterioro en la alerta. Además, dado a que los registros en dicho estudio fueron a una hora específica del día, no registró la combinación de los efectos homeostáticos y circadianos que se reporta en el presente trabajo. Estos datos en conjunto indican que los resultados del presente trabajo reflejan variaciones

homeostáticas y circadianas en la capacidad para responder a un solo estímulo, lo cual se relaciona con las variaciones en la alerta tónica.

Las respuestas correctas al E2 en el intervalo de 100 ms se evaluaron en este trabajo para analizar el fenómeno de exención en el primer intervalo, en el que se procesan ambos estímulos de forma conjunta con una eficiencia mayor a la del intervalo de PA (MacLean y Arnell, 2012). El porcentaje de aciertos en este intervalo se redujo conforme incrementó el tiempo en vigilia, presentando un alto nivel en los primeros registros y un deterioro progresivo conforme incrementaron las horas sin dormir. También, se encontró que la capacidad para responder a estos eventos fue alta durante el día y hasta las 22:00 h, y después presentó una reducción gradual durante la noche, seguida de una recuperación al día siguiente, como ocurrió con las respuestas a un solo estímulo.

De acuerdo con la literatura, el fenómeno de exención implica que los dos estímulos (E1 y E2) pueden ser reportados correctamente cuando se presentan separados por un intervalo de 100 ms (sin distractores en medio), lo que puede observarse en un porcentaje de aciertos mayor del 5% con respecto al del intervalo de PA (Visser y Ohan, 2011). Los datos de este trabajo revelan que el fenómeno de exención solamente se presentó bajo esta condición hasta las 18:00 h, momento después del cual la eficiencia comenzó a deteriorarse hasta ser igual de baja que la reportada en el E2 con intervalo de 200 ms, el indicador de PA. Por lo tanto, el fenómeno de exención dejó de presentarse en los registros siguientes, como un efecto del tiempo en vigilia.

Los datos del presente estudio concuerdan con un reporte anterior de variaciones homeostáticas y circadianas en las respuestas correctas al E2 con intervalo de 100 en una tarea de PSVR (Gallegos et al., 2019), en el que se describió una mejor capacidad en horas diurnas y una capacidad reducida durante la noche y las primeras horas de la mañana. En dicho estudio también se reportó que el efecto de exención dejó de presentarse luego de los primeros registros, lo que refleja que este indicador puede ser uno de los primeros en ser afectados por la acumulación de horas sin dormir. Además, las variaciones en este parámetro coinciden con las reportadas en el E1, por lo que también podrían ser producto de la reducción general en la alerta.

Por otro lado, los datos del presente estudio no concuerdan con los resultados reportados en un protocolo de restricción de sueño (Shenfield et al., 2020). En dicho estudio, la capacidad para responder al E2 con intervalo de 100 ms permanece constante luego de reducir la duración del sueño de 7-8 horas a 5 horas. Es probable que, igual que como se argumentó al respecto de las respuestas al E1, la ausencia de variaciones en el estudio de Shenfield et al. (2020) se deba a las diferencias en el protocolo de registros empleado.

En conjunto, estos resultados sugieren que la capacidad de integrar dos eventos en un solo episodio podría explicarse por la reducción general para responder a cualquier estímulo. Por lo tanto, las variaciones para responder al E2 podrían depender también de las variaciones en la alerta. Además, la desaparición del fenómeno de exención en los primeros registros puede ser un indicador de que esta capacidad puede deteriorarse incluso con pocas horas acumuladas en vigilia.

Las respuestas al E2 con intervalo de 200 ms fueron el indicador del PA en este estudio, dado a que su nivel de aciertos suele ser el más bajo (MacLean y Arnell, 2012). Estas respuestas reflejan la capacidad limitada para responder a nueva. Los resultados registrados en el otro intervalo de PA (400 ms) fueron similares en este estudio, por lo que ambos se describen enseguida.

La eficiencia para responder a un segundo evento durante el intervalo de PA presentó variaciones homeostáticas con un nivel reducido de aciertos, cerca del 70% (típico del PA), desde las primeras horas en vigilia, aunque los aciertos disminuyeron hasta alrededor del 50% con el incremento de horas sin dormir. Además las respuestas correctas en este parámetro también presentaron variaciones circadianas caracterizadas por una capacidad más reducida durante la noche y las primeras horas de la mañana (entre 04:00-08:00 h).

Las variaciones homeostáticas y circadianas en este parámetro concuerdan con resultados previamente documentadas en el PA (Gallegos et al., 2019). En contraste, los resultados del experimento actual difieren un reporte anterior que indica que la eficiencia para responder en el intervalo de PA se mantiene limitada y constante incluso con la restricción de sueño (Shenfield et al., 2020). Como se mencionó antes, esto podría explicarse porque el protocolo de privación de sueño es diferente a la del presente estudio.

Estos datos parecen indicar que la capacidad para responder a un segundo evento en el intervalo de PA es reducida en cualquier momento del día, y disminuye aún más con la acumulación de horas sin dormir y durante la noche. Las variaciones homeostáticas y circadianas en este parámetro concuerdan con las variaciones para responder a un

solo estímulo, por lo que es posible que también sean afectadas por la reducción general en la alerta.

Las respuestas correctas al E2 en los intervalos de 600 a 800 ms representan un indicador secundario en el presente estudio equivalente al intervalo posterior al PA (MacLean y Arnell, 2012). Las respuestas correctas en este intervalo presentaron variaciones homeostáticas que pueden observarse en un alto porcentaje durante las primeras 16 horas en vigilia y una reducción progresiva en los registros siguientes. Asimismo, se presentaron variaciones circadianas en las respuestas en estos intervalos, con una alta eficiencia para responder en horas diurnas y una reducción durante la noche y las primeras horas de la mañana (entre 04:00-08:00 h).

Estas variaciones conforme las horas sin dormir y durante la noche concuerdan con resultados previamente documentadas (Gallegos et al., 2019). Por otro lado, los resultados del presente estudio difieren de un estudio previo sobre los efectos de la restricción de sueño en el PA (Shenfield et al., 2020). La eficiencia para responder al E2 en los intervalos posteriores al PA es alta en el estudio de Shenfield et al. (2020), incluso en la condición con restricción de sueño. No obstante, estas diferencias entre estudios podrían explicarse por los diferentes protocolos empleados.

Por consiguiente, estos resultados indican que la capacidad para responder a un segundo estímulo se reduce al mismo nivel incluso en intervalos mayores a 500 ms con la acumulación de horas sin dormir y durante la noche. Las variaciones homeostáticas y circadianas en este parámetro concuerdan con las variaciones en intervalos posteriores al PA presenta variaciones homeostáticas y circadianas

similares a las observadas en casi todos los parámetros de la tarea de PVSR, por lo que estas variaciones también podrían relacionarse con las variaciones en la alerta.

Las respuestas al E2 en los intervalos de 1000-1400 ms representan otro indicador secundario en este estudio y corresponden a intervalos muy largos posteriores al intervalo de PA. No obstante, los resultados en estos intervalos fueron similares a los obtenidos en el intervalo más largo (E2 con intervalo de 1600 ms), por lo que los resultados de estos intervalos se presentan en conjunto a continuación.

Las respuestas correctas al E2 en intervalos muy largos presentaron variaciones homeostáticas en las que se presentó un porcentaje alto durante las primeras horas sin dormir (algo esperado de acuerdo con el patrón de PA), mientras que después de 16 horas sin dormir, el porcentaje de aciertos se redujo hasta alcanzar niveles similares a los obtenidos en el intervalo de PA, lo que indica una disminución general para responder al E2. Además, se observaron variaciones circadianas en estas respuestas caracterizadas por una alta eficiencia durante el día (hasta las 22:00 h), que se deteriora gradualmente durante la noche y las primeras horas del día, para recuperarse levemente después del mediodía.

No se tiene conocimiento sobre algún estudio que haya utilizado intervalos tan largos en tareas de PVSR para evaluar los efectos de las horas en vigilia y la hora del día. Los dos estudios mencionados anteriormente que han evaluado el PA, han utilizado tareas que presentan el E2 en intervalos de hasta 800 ms después del E1 (Gallegos et al., 2019; Shenfield et al., 2020).

En el estudio de Gallegos et al. (2019), se sugiere la posibilidad de que el intervalo del PA pueda prolongarse más allá de 800 ms por la influencia de los factores homeostático y circadiano. Esto implicaría que con la acumulación de horas sin dormir y durante la noche la capacidad para responder al E1 sería mayor que la del E2, mientras que la capacidad para responder al E2 sería deficiente en intervalos cortos (200-500 ms) aunque podría alcanzar niveles similares a los del E1 en intervalos muy largos (1000-1600 ms). Además, en este mismo estudio se propone que la reducción general en todos los parámetros del PA, podría ser el resultado de una disminución en la alerta que puede observarse en una incapacidad para responder al segundo evento en intervalos largos e incluso a un solo estímulo. Estas posibilidades fueron exploradas en la presente investigación al incluir intervalos más largos, de hasta 1600 ms, entre E1 y E2.

El porcentaje de respuestas correctas al E2 con intervalos de 200 y 1600 ms fueron comparados para identificar el PA. Las diferencias fueron significativas hasta las 02:00 h, reflejando el efecto de PA, aunque se encontró que a partir de las 04:00 h (con excepción del registro de las 10:00 h) no hubo diferencias en estas variables. Esto se debe a un deterioro más profundo en las respuestas al E2 con intervalo de 1600 ms, cuyo porcentaje se redujo en 40 puntos (de 90 a 50% aproximadamente), mientras que las respuestas al E2 con intervalo de 200 ms tuvieron una reducción de 20 puntos (de 70 a 50% aproximadamente). La falta de diferencias entre las respuestas correctas de estos dos intervalos indica que el PA no ocurre de forma típica, debido a que su definición implica una respuesta eficiente al E1 y al E2 en intervalos largos, mientras que en el presente estudio las respuestas a estos eventos fueron deficientes. En

conjunto, estos datos sugieren que con la privación de sueño y durante la noche, la capacidad para responder a un segundo evento disminuye en general, independientemente del tiempo que ocurra entre este y el primer estímulo. Las variaciones homeostáticas y circadianas en este parámetro coinciden con las variaciones en la respuesta a un solo estímulo, por lo que también podrían ser afectadas por los cambios en la alerta.

Además de las respuestas correctas en la tarea de PVSR, se analizaron las respuestas invertidas en los intervalos de 100-1600 ms entre E1 y E2. Las respuestas invertidas en el intervalo de 100 ms representan una capacidad para integrar dos eventos en un solo episodio, mientras que en los intervalos de 200-1600 ms, los eventos se integran por separado. Las respuestas invertidas ocurrieron con mayor proporción a los 100 ms en todos los registros, incluso cuando dejó de presentarse el fenómeno de exención en el primer intervalo. Además, estas respuestas presentaron variaciones después de 16 horas sin dormir, pero no presentaron variaciones con la hora del día, lo que indica que la capacidad para procesar dos eventos en un solo episodio de 100 ms podría ser más estable a los efectos de la hora del día.

El fenómeno de exención a los 100 ms se ha observado en condiciones de privación de sueño (Gallegos et al., 2019; Shenfield et al., 2020). En el estudio de Shenfield et al. (2020) no se reporta el número de respuestas invertidas, pero la eficiencia para responder al E2 de 100 ms es alta, lo que implica que el porcentaje de respuestas invertidas puede ser alto incluso en la condición de privación de sueño. Por otro lado, en el estudio de Gallegos et al. (2019), las respuestas invertidas a los 100 ms se mantienen en un nivel alto a pesar la acumulación de horas sin dormir y del momento

del día. Los resultados del presente estudio concuerdan de forma parcial por lo reportado por Gallegos et al. (2019). Por una parte, concuerdan en que las respuestas invertidas a los 100 ms pueden ser más estables a los efectos circadianos que otros parámetros de la tarea de PVSR. Por otro lado, en el presente trabajo se observa solamente un incremento en las respuestas invertidas conforme se acumulan las horas sin dormir, lo que difiere con lo reportado anteriormente. En suma, los resultados de este parámetro sugieren que la capacidad de procesar dos eventos en conjunto es más resistente al factor circadiano que las variaciones en la eficiencia para responder al E1 y al E2. Dado a que las variaciones homeostáticas y circadianas encontradas en estos parámetros se relacionan con las variaciones en la alerta, es posible que los mecanismos implicados en las respuestas invertidas no se afecten tanto por la reducción de la alerta.

Las respuestas invertidas en los demás intervalos (200-1600 ms) fueron el último indicador del PA en esta investigación. Estas respuestas suelen ocurrir con mucha menor frecuencia y no se asocian al procesamiento conjunto, sino al procesamiento independiente. Estos errores en el orden podrían ser ocasionados por dificultades en la memoria de trabajo o la respuesta motora. Los datos de esta investigación reportan que el porcentaje de inversiones de orden es bajo durante todos los registros. Aun así, estas respuestas se incrementaron conforme se incrementaron las horas sin dormir, y también presentaron variaciones con la hora del día en las que se observó un número muy bajo de respuestas invertidas en horas diurnas, y un ligero incremento durante la noche y las primeras horas del día.

Los resultados de este parámetro concuerdan con un estudio anterior que reporta que las respuestas invertidas se incrementan de forma ligera pero significativa en los intervalos de 200-800 ms por de la acumulación de horas en vigilia y durante la noche (Gallegos et al., 2019). El bajo nivel de las respuestas invertidas durante el registro indica que aun cuando la capacidad de identificar dos estímulos se reduce, reportar el orden en el que estos eventos ocurren no representa un problema para las personas.

En resumen, la mayoría de los parámetros principales de la PVSR presentaron efectos homeostáticos y circadianos (E1, E2 con intervalos 100, 200 y 1600 ms, y las respuestas invertidas en los intervalos de 200-1600 ms), con una mejor capacidad durante el día, cuando la temperatura rectal presentó su mayor nivel, y las sensaciones de somnolencia y cansancio presentaron un menor nivel. El mejor nivel de aciertos en estos parámetros ocurrió cerca de la hora con mayor nivel de temperatura rectal, lo cual concuerda con otro estudio que ha reportado que la alerta se mantiene en fase con la temperatura corporal (Wright et al., 2002). Por lo tanto, los resultados sugieren que las variaciones en estos parámetros del límite atencional están coordinadas con las variaciones homeostáticas y circadianas en distintas funciones del organismo.

Por otro lado, las respuestas invertidas a en el intervalo de 100 ms solamente presentaron variaciones relacionadas con la hora del día, lo que sugiere que podría ser más estables a los efectos circadianos. Este último resultado conduce hacia otro de los objetivos de la presente investigación: identificar variaciones homeostáticas y circadianas en el proceso cognoscitivo involucrado en estas respuestas, la memoria icónica.

En la TMI, se evaluó la memoria icónica con las respuestas a los IEE de 50 y 500 ms, además las respuestas con un IEE de 3000 ms se incluyeron como una condición de control debido a que en este intervalo la información de la memoria icónica suele desvanecerse. Las respuestas a los eventos con IEE de 50 ms representaron un indicador una etapa inicial de la memoria icónica, en la que puede almacenarse una cantidad de información mayor (70-90%) respecto a intervalos más largos. El porcentaje de aciertos en los eventos con un IEE de 50 ms fue menor a lo reportado en otras tareas de memoria icónica (Bradley y Pearson, 2012), y se mantuvo con un nivel de aciertos alrededor del 65% durante todos los registros y no presentó variaciones ni con la acumulación de horas sin dormir ni con la hora del día.

No se conocen estudios sobre las variaciones homeostáticas o circadianas en la memoria icónica. Sin embargo, se ha asociado la memoria icónica con las respuestas invertidas de la PVSR (Akyürek et al., 2017), por lo tanto, la ausencia de variaciones en las respuestas invertidas en el intervalo de 100 ms en la tarea de PVSR presentadas en este y un previo estudio (Gallegos et al., 2019), puede coincidir con la ausencia de variaciones en este intervalo de la memoria icónica.

Los resultados reportados en el presente trabajo sobre la eficiencia para responder al IEE de 50 ms difieren de las variaciones homeostáticas y circadianas reportadas en los demás parámetros de las tareas de PVSR, por lo que la capacidad de almacenar información en este intervalo temprano de la memoria icónica podría ser más estable a los efectos homeostático y circadiano. Una posibilidad es que esta etapa de la memoria icónica no se afecte por las variaciones en la alerta, mientras que otra explicación sería que la memoria icónica solo se deteriore en condiciones de una

privación de sueño más extensa. Además, el hecho de que este parámetro de la memoria icónica no presente variaciones podría deberse a que la capacidad es limitada en cualquier momento del día en comparación con otros procesos cognoscitivos básicos como la atención, en el que la eficiencia es muy alta durante el día (más del 90%) y alcanza niveles cercanos al 70% por la noche.

Las respuestas correctas a los eventos con un IEE de 500 ms se incluyeron como otro indicador de memoria icónica, específicamente de una etapa tardía de este almacén sensorial en el que la información puede almacenarse de forma similar al intervalo de 50 ms. Los aciertos en este parámetro presentaron variaciones homeostáticas, con una capacidad relativamente eficiente en los primeros registros (~70%), que presentó una disminución luego de 16 horas en vigilia (~60%). Además, se encontraron variaciones circadianas en este parámetro, en las que se observó una capacidad reducida entre 04:00-08:00 h.

No se tiene conocimiento sobre estudios que hayan abordado los efectos homeostático ni circadiano en la memoria icónica. No obstante, las variaciones en este parámetro de la memoria icónica coinciden con las variaciones encontradas en los parámetros de la tarea PVSR de este estudio y uno previo (Gallegos et al., 2019). Por lo tanto, la reducción en la capacidad del almacenamiento en el intervalo de 500 ms podría reflejar que la memoria icónica también depende de las variaciones en la alerta.

Otro punto importante es que los aciertos para responder al estímulo con IEE de 500 ms de la TMI presentó variaciones con el tiempo en vigilia y la hora del día, mientras que las respuestas al estímulo con IEE de 50 ms no presentó variaciones de este tipo.

Estos resultados pueden deberse a que la eficiencia para responder al estímulo con IEE de 50 ms fue más estable (reducida en general), que el del IEE de 500 ms, lo cual puede observarse en una mayor eficiencia para responder en el IEE de 500 ms que en el de 50 ms durante el día pero una menor eficiencia para responder al estímulo con IEE de 500 ms que al de 50 ms durante la noche. El deterioro progresivo en esta variable puede observarse de forma similar al que se observa en los parámetros del PA en la tarea de PVSR.

Finalmente, las respuestas correctas a los eventos con IEE de tres segundos (3000 ms), fueron incluidas como una condición de control en la que los estímulos normalmente son respondidos deficientemente, debido a que en este nivel la información de la memoria icónica se desvanece. El nivel de aciertos en este parámetro presentó variaciones homeostáticas, manteniéndose en niveles deficientes y cercanos al 50%, aunque esta capacidad se redujo aún más en los últimos registros. Asimismo, se observaron variaciones circadianas con una reducción en la eficiencia para responder a este parámetro durante la noche y las primeras horas de la mañana (02:00-08:00 h).

No se conocen estudios que aborden las variaciones homeostáticas o circadianas en este parámetro de la memoria icónica. Por otra parte, la eficiencia durante las horas diurnas en este intervalo coincide con lo reportado con otras tareas de memoria icónica (Bradley y Pearson, 2012). En particular, las variaciones en este parámetro coinciden con las encontradas en los aciertos en los eventos con IEE de 500 ms, y en general con las variaciones reportadas en la PVSR para responder incluso a cualquier evento

(Gallegos et al., 2019), por lo que podrían reflejar las variaciones circadianas generales en la alerta.

Los datos de la TMI en conjunto sugieren variaciones homeostáticas y circadianas en la capacidad para almacenar información en la memoria icónica en etapas tardías en el procesamiento de la información (500 ms). La memoria icónica tuvo una mejor capacidad cerca de la hora con mayor nivel de temperatura rectal, lo que coincide con otro estudio en los que la alerta se mantiene en fase con la temperatura corporal (Wright et al., 2002). Estos datos indican que las variaciones en la memoria icónica se relacionan con las variaciones homeostáticas y circadianas en distintas funciones del organismo.

No obstante, no se presentaron variaciones homeostáticas ni circadianas en etapas iniciales (50 ms). Una posible explicación de estas diferencias es que la memoria icónica sea más resistente a los factores homeostáticos y circadianos, y sus cambios puedan observarse solo en algunas etapas en su procesamiento, siendo las etapas más tempranas menos sensibles y las más tardías, más sensibles. Otra alternativa, es que incluso la etapa inicial de la memoria icónica podría ser afectada si se modifican condiciones del protocolo de registro como la cantidad horas en vigilia.

En resumen, en este estudio se utilizaron el PA y la memoria icónica para analizar los efectos homeostáticos y circadianos en el límite atencional. Los efectos sobre ambos fenómenos fueron diversos: en el primer indicador del límite atencional, los eventos relacionados con el procesamiento de un segundo estímulo en intervalos muy largos (1600 ms), se presentó un deterioro general que coincide con las variaciones en la temperatura y en los procesos cognoscitivos básicos, mientras que los eventos relacionados con la memoria icónica presentan variaciones homeostáticas y circadianas solo en el intervalo de 500 ms, las cuales también coinciden con las variaciones en la mayoría de los parámetros del PA, en los procesos cognoscitivos básicos como la alerta y en general en el metabolismo.

Los resultados de la presente investigación concuerdan con artículos que han propuesto que los efectos homeostáticos y circadianos pueden afectar de forma diferente a los procesos cognoscitivos e incluso mantener una secuencia temporal (Valdez, 2019b). Anteriormente se ha propuesto una secuencia temporal en el deterioro de la ejecución por efectos homeostáticos y circadianos. Los datos de esta investigación pueden explicarse con esta secuencia.

En horas diurnas, la temperatura rectal fue alta, la somnolencia y el cansancio fueron bajos, mientras que la capacidad para responder a los parámetros de las tareas de PVSR y TMI fue eficiente. Al pasar el día e incrementar la cantidad de horas en vigilia, la temperatura comenzó a disminuir, la somnolencia y el cansancio a incrementar, y la eficiencia de algunos de los procesos cognoscitivos básicos como la alerta comenzó a reducirse, lo que puede observarse en la temprana desaparición del fenómeno de exención, (desde las 18:00 h), mientras que otros parámetros como la respuesta al E1

o al E2 con intervalo de 1600 ms permanecieron en niveles altos, sin afectarse por esta reducción inicial en la alerta.

Posteriormente, al avanzar la noche e incrementar aún más el tiempo en vigilia, la temperatura descendió hasta su nivel más bajo, la somnolencia y el cansancio incrementaron hasta su nivel más alto, y los procesos cognoscitivos más complejos también se deterioraron hasta sus niveles más bajos, por lo que la capacidad para responder se redujo en la mayoría de los parámetros de las tareas de PVSR y TMI. Finalmente, al día siguiente, la temperatura rectal volvió a incrementar, la somnolencia y el cansancio a disminuir, y los procesos cognoscitivos mejoraron su nivel de eficiencia pesar del incremento en las horas sin dormir.

La ausencia de variaciones en las respuestas invertidas a los 100 ms en la PVSR y las respuestas de memoria icónica el evento con un IEE de 50 ms en la TMI, pueden reflejar capacidades previas a la selección atencional que son limitadas y relativamente estables a los efectos homeostático y circadiano. Dado a que al menos, el evento con IEE de 500 ms presentó variaciones homeostáticas y circadianas similares a las observadas en otros procesos cognoscitivos, puede hipotetizarse que la memoria icónica se afecta de la misma forma que los procesos cognoscitivos básicos, si se modifican condiciones como la cantidad de horas en vigilia. Esto no pudo observarse en este trabajo debido al protocolo de investigación utilizado, aunque futuras investigaciones podrían abordar esta pregunta.

En particular, las respuestas invertidas a los 100 ms en la PVSR y las respuestas al IEE de 50 ms en la TMI presentan una capacidad limitada, por lo que puede decirse que es igual de deficiente en cualquier momento del día, lo que implica que realizar dos actividades al mismo tiempo es riesgoso a cualquier hora e incluso sin privación de sueño.

La reducción para responder eficientemente en condiciones que exigen la atención al límite tiene implicaciones prácticas para todas aquellas personas que realizan actividades que requieren responder a múltiples tareas en intervalos cortos de tiempo, como médicos, choferes, pilotos, personal de seguridad, operadores de maquinaria, etc., quienes laboran en horarios extendidos, nocturnos o rotatorios en los que se incrementa la posibilidad de errores, accidentes y lesiones (Folkard y Tucker, 2003; Tucker et al., 2003).

Además, conocer los diferentes efectos homeostáticos y circadianos en los límites de las capacidades neuropsicológicas (atención, memoria de trabajo y funciones ejecutivas) es relevante en el ámbito educativo, ya que muchas de las actividades escolares que requieren estos procesos básicos comienzan en momentos del día en el que sus niveles son todavía bajos. Por lo tanto, este conocimiento puede usarse para planear actividades escolares con base en su nivel de exigencia y la hora del día, así como para considerar diversos factores como el cronotipo, o el tiempo de sueño de los alumnos en su evaluación (Louzada y Menna-Barreto, 2007; Valdez et al., 2014; Valdez et al., 2008).

En el ámbito clínico, conocer los límites de los procesos cognoscitivos es útil en la evaluación e intervención de pacientes. Por ejemplo, las personas con alteraciones atencionales podrían presentar mayor dificultad para responder a pruebas neuropsicológicas que presenten series de estímulos con una frecuencia de un evento por segundo, si tuvieran privación de sueño o en horas específicas del día.

Conclusiones

- Los aciertos para responder a la mayoría de los parámetros de la tarea de PVSR presentaron variaciones homeostáticas, con un mejor nivel al inicio del registro, que se redujo después de 16 horas sin dormir, así como variaciones circadianas, con una mejor capacidad durante las horas diurnas y un menor nivel entre las 02:00 y 08:00 h. Los efectos homeostático y circadiano producen una reducción en la capacidad para responder a cualquier estímulo (E1), una disminución en la capacidad para integrar dos eventos en un episodio (E2 con intervalo de 100 ms), una reducción aun mayor a la típica del PA en la capacidad para responder a un segundo evento (E2 con intervalo de 200 ms), y también ocurre una reducción general para responder a un segundo evento, independientemente de su latencia después del primero (E2 con intervalo de 1600ms). Debido a que estas variaciones se reportaron en las respuestas a cualquier tipo de estímulo, se sugiere que las variaciones en este parámetro se afectan por la reducción general en la alerta. Además, estas variaciones se

relacionan con las variaciones en los procesos cognoscitivos y en la temperatura corporal.

- La eficiencia para responder a la TMI en los intervalos de memoria icónica (50 y 500 ms) presentó distintas variaciones: la etapa inicial de la memoria icónica (respuestas con IEE de 50 ms) no presentó variaciones homeostáticas ni circadianas. Estos resultados pueden explicarse por una capacidad que es limitada en cualquier momento del día, o porque la privación de sueño no fuera suficiente para generar un efecto en estas respuestas. Por otro lado, la etapa tardía de la memoria icónica (respuestas con IEE de 500 ms) presentó variaciones homeostáticas y circadianas similares a las de la tarea de PVSR, con una alta capacidad en los primeros registros, que disminuye luego de 16 horas sin dormir, así como variaciones a lo largo del día, con una mejor capacidad durante el día y un menor nivel entre las 02:00 y 08:00 h. Estas variaciones concuerdan con las variaciones en las respuestas correctas en la tarea de PVSR, por lo que las variaciones en la memoria icónica también podrían afectarse por los cambios en la alerta. Asimismo, las variaciones en este parámetro se asocian con las variaciones en funciones como la temperatura corporal.

Referencias

Ahmadi, N., Goodarzi, M. A., Hadianfard, H., Mohamadi, N., Farid, D., Kholasehzadeh, G., ... y Hemyari, C. (2013). Comparing iconic memory in children with and without attention deficit hyperactivity disorder. *Iranian journal of psychiatry*, 8(3), 131.

Åkerstedt, T. (2003). Shift work and disturbed sleep/wakefulness. *Occupational medicine*, 53(2), 89-94.

Åkerstedt, T., y Folkard, S. (1997). The three-process model of alertness and its extension to performance, sleep latency, and sleep length. *Chronobiology international*, 14(2), 115-123.

Akyürek, E. G., Eshuis, S. A., Nieuwenstein, M. R., Saija, J. D., Başkent, D., y Hommel, B. (2012). Temporal target integration underlies performance at lag 1 in the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(6), 1448.

Akyürek, E. G., Kappelmann, N., Volkert, M., y van Rijn, H. (2017). What you see is what you remember: Visual chunking by temporal integration enhances working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29, 2025-2036.

Akyürek, E. G., y Wolff, M. J. (2016). Extended temporal integration in rapid serial visual presentation: Attentional control at Lag 1 and beyond. *Acta Psychologica*, 168, 50-64.

Armstrong, I. T., y Munoz, D. P. (2003). Attentional blink in adults with attention-deficit hyperactivity disorder. *Experimental Brain Research*, 152(2), 243-250.

Aschoff, J. (1981). *Biological rhythms*. Springer.

Atkinson, R. C., y Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. *Psychology of learning and motivation*, 2(4), 89-195.

Averbach, E., y Coriell, A. S. (1961). Short-term memory in vision. *The Bell System Technical Journal*, 40(1), 309-328.

Baddeley, A. D. (1999). *Essentials of human memory*. Psychology Press.

Band, G. P., Jolicœur, P., Akyürek, E. G., y Memelink, J. (2006). Integrative views on dual-task costs. *European Journal of Cognitive Psychology*, 18(4), 481-492.

Becker, M. W., Pashler, H., y Anstis, S. M. (2000). The role of iconic memory in change-detection tasks. *Perception*, 29(3), 273-286.

Bell-Pedersen, D., Cassone, V. M., Earnest, D. J., Golden, S. S., Hardin, P. E., Thomas, T. L., y Zoran, M. J. (2005). Circadian rhythms from multiple oscillators: lessons from diverse organisms. *Nature Reviews Genetics*, 6(7), 544-556.

Blatter, K., y Cajochen, C. (2007). Circadian rhythms in cognitive performance: methodological constraints, protocols, theoretical underpinnings. *Physiology & behavior*, 90(2-3), 196-208.

Borbély, A. A. (1982). A two-process model of sleep regulation. *Human neurobiology*, 1(3), 195-204.

Borbély, A. A., Daan, S., Wirz-Justice, A., y Deboer, T. (2016). The two-process model of sleep regulation: a reappraisal. *Journal of sleep research*, 25(2), 131-143.

Bradley, C., y Pearson, J. (2012). The sensory components of high-capacity iconic memory and visual working memory. *Frontiers in psychology*, 3, 355.

Bratzke, D., Rolke, B., Steinborn, M. B., y Ulrich, R. (2009). The effect of 40 h constant wakefulness on task-switching efficiency. *Journal of Sleep Research*, 18(2), 167-172.

Bratzke, D., Rolke, B., Ulrich, R., y Peters, M. (2007). Central slowing during the night. *Psychological Science*, 18(5), 456-461.

Broadbent, D. E. (1952a). Listening to one of two synchronous messages. *Journal of experimental psychology*, 44(1), 51.

Broadbent, D. E. (1952b). Speaking and listening simultaneously. *Journal of experimental psychology*, 43(4), 267.

Broadbent, D. E. (1957). A mechanical model for human attention and immediate memory. *Psychological Review*, 64(3), 205.

Brown Jr, F. A. (1965). Propensity for Lunar Periodicity in Hamsters and Its Significance For Biological Clock Theories. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 120(3), 792-797.

Brown Jr, F. A., y Scow, K. M. (1978). Magnetic induction of a circadian cycle in hamsters. *Biological Rhythm Research*, 9(2), 137-145.

Burke, T. M., Scheer, F. A., Ronda, J. M., Czeisler, C. A., y Wright Jr, K. P. (2015). Sleep inertia, sleep homeostatic and circadian influences on higher-order cognitive functions. *Journal of sleep research*, 24(4), 364-371.

Buysse, D. J., Reynolds III, C. F., Monk, T. H., Hoch, C. C., Yeager, A. L., y Kupfer, D. J. (1991). Quantification of subjective sleep quality in healthy elderly men and women using the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI). *Sleep*, 14(4), 331-338.

Cajochen, C., Khalsa, S. B. S., Wyatt, J. K., Czeisler, C. A., y Dijk, D. J. (1999). EEG and ocular correlates of circadian melatonin phase and human performance decrements during sleep loss. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 277(3), R640-R649.

Carrier, J., y Monk, T. H. (2000). Circadian rhythms of performance: new trends. *Chronobiology International*, 17(6), 719-732.

Cherry, E. C. (1953). Some experiments on the recognition of speech, with one and with two ears. *The Journal of the acoustical society of America*, 25(5), 975-979.

Choi, H., Chang, L. H., Shibata, K., Sasaki, Y., y Watanabe, T. (2012). Resetting capacity limitations revealed by long-lasting elimination of attentional blink through training. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(30), 12242-12247.

Chun, M. M., y Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 109.

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

Cohen, R. A. (2014). *The neuropsychology of attention*. Springer Science Business Media.

Coltheart, M. (1980). Iconic memory and visible persistence. *Perception & psychophysics*, 27(3), 183-228.

Couyoumdjian, A., Sdoia, S., Tempesta, D., Curcio, G., Rastellini, E., De Gennaro, L., y Ferrara, M. (2010). The effects of sleep and sleep deprivation on task-switching performance. *Journal of sleep research*, 19(1-Pt-I), 64-70.

Czeisler, C. A., Duffy, J. F., Shanahan, T. L., Brown, E. N., Mitchell, J. F., Rimmer, D. W., y Dijk, D. J. (1999). Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, 284(5423), 2177-2181.

Daan, S., Beersma, D. G., y Borbély, A. A. (1984). Timing of human sleep: recovery process gated by a circadian pacemaker. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 246(2), R161-R183.

Del Angel, J., Cortez, J., Juarez, D., Guerrero, M., García, A., Ramírez, C., y Valdez, P. (2015). Effects of sleep reduction on the phonological and visuospatial components of working memory. *Sleep Science*, 8(2), 68-74.

Deutsch, J. A., y Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological review*, 70(1), 80.

Di Lollo, V., Kawahara, J. I., Ghorashi, S. S., y Enns, J. T. (2005). The attentional blink: Resource depletion or temporary loss of control?. *Psychological research*, 69(3), 191-200.

Dibner, C., Schibler, U., y Albrecht, U. (2010). The mammalian circadian timing system: organization and coordination of central and peripheral clocks. *Annual Review of Physiology*, 72, 517-549.

Drucker-Colín, R., Aguilar-Roblero, R., García-Hernández, F., Fernández, Cancino, F. y Rattoni, F. B. (1984). Fetal suprachiasmatic nucleus transplants: diurnal rhythm recovery of lesioned rats. *Brain Research*, 311(2), 353-357.

Duffy, J. F., y Dijk, D. J. (2002). Getting through to circadian oscillators: why use constant routines?. *Journal of biological rhythms*, 17(1), 4-13.

Dux, P. E., y Marois, R. (2009). The attentional blink: A review of data and theory. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(8), 1683-1700.

Enns, J. T., Kealong, P., Tichon, J. G., y Visser, T. A. (2017). Training and the attentional blink: Raising the ceiling does not remove the limits. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79(8), 2257-2274.

Eysenck, M. W., y Keane, M. T. (2010). *Cognitive Psychology: A Student's Handbook*. Psychology Press.

Folkard, S., y Tucker, P. (2003). Shift work, safety and productivity. *Occupational medicine*, 53(2), 95-101.

Gallegos, C., García, A., Ramírez, C., Borrani, J., Azevedo, C. V., y Valdez, P. (2019). Circadian and homeostatic modulation of the attentional blink. *Chronobiology international*, 36(3), 343-352.

García, A., Ramírez, C., Martínez, B., y Valdez, P. (2012). Circadian rhythms in two components of executive functions: cognitive inhibition and flexibility. *Biological Rhythm Research*, 43(1), 49-63.

García, A., Ramírez, C., y Valdez, P. (2016). Circadian variations in self-monitoring, a component of executive functions. *Biological Rhythm Research*, 47(1), 7-23.

Georgiou-Karistianis, N., Tang, J., Vardy, Y., Sheppard, D., Evans, N., Wilson, M., ... y Bradshaw, J. (2007). Progressive age-related changes in the attentional blink paradigm. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 14(3), 213-226.

Goel, N., Basner, M., Rao, H., y Dinges, D. F. (2013). Circadian rhythms, sleep deprivation, and human performance. In *Progress in molecular biology and translational science*, 119,155-190). Academic Press.

Golombek, D. (2007). *Cronobiología humana: ritmos y relojes biológicos en la salud y en la enfermedad*. Universidad Nacional de Quilmes Editorial.

Golombek, D. A., y Rosenstein, R. E. (2010). Physiology of circadian entrainment. *Physiological reviews*, 90(3), 1063-1102.

Graziano, M., y Sigman, M. (2008). The dynamics of sensory buffers: geometric, spatial, and experience-dependent shaping of iconic memory. *Journal of Vision*, 8(5), 9-9.

Green, D. J. y Gillette, R. (1982). Circadian rhythm of firing rate recorded from single cells in the rat suprachiasmatic brain slice. *Brain Research*, 245(1), 198-200.

Groeger, J. A., Viola, A. U., Lo, J. C., von Schantz, M., Archer, S. N., y Dijk, D. J. (2008). Early morning executive functioning during sleep deprivation is compromised by a PERIOD3 polymorphism. *Sleep*, 31(8), 1159-1167.

Haber, R. N. (1983). The impending demise of the icon: A critique of the concept of iconic storage in visual information processing. *Behavioral and brain sciences*, 6(1), 1-11.

Hahn, B., Kappenman, E. S., Robinson, B. M., Fuller, R. L., Luck, S. J., y Gold, J. M. (2010). Iconic decay in schizophrenia. *Schizophrenia Bulletin*, 37(5), 950-957.

- Halberg, F. (1969). Chronobiology. *Annual Review of Physiology*, 31(1), 675-726.
- Hari, R., Valta, M. y Uutela, K. (1999). Prolonged attentional dwell time in dyslexic adults. *Neuroscience Letters*, 271(3), 202-204
- Harrison, Y., Jones, K., y Waterhouse, J. (2007). The influence of time awake and circadian rhythm upon performance on a frontal lobe task. *Neuropsychologia*, 45(8), 1966-1972.
- Hollingsworth, D. E., McAuliffe, S. P., y Knowlton, B. J. (2001). Temporal allocation of visual attention in adult attention deficit hyperactivity disorder. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(3), 298-305.
- Hommel, B., y Akyürek, E. G. (2005). Lag-1 sparing in the attentional blink: Benefits and costs of integrating two events into a single episode. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(8), 1415-1433.
- Honma, S. (2018). The mammalian circadian system: a hierarchical multi-oscillator structure for generating circadian rhythm. *The Journal of Physiological Sciences*, 68(3), 207-219.
- Horne, J. A., y Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International journal of chronobiology*, 4(2), 97-110
- Huang, R. C. (2018). The discoveries of molecular mechanisms for the circadian rhythm: The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine. *Biomedical journal*, 41(1), 5-8.
- Husain, M., y Rorden, C. (2003). Non-spatially lateralized mechanisms in hemispatial neglect. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(1), 26-36.
- Husain, M., Shapiro, K., Martin, J. y Kennard, C. (1997). Abnormal temporal dynamics of visual attention in spatial neglect patients. *Nature*, 385(6612), 154-156.

James, W. (1890). *The principles of psychology*, Vol. 2. Henry Holt and Company.

Johns, M. W. (1991). A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. *Sleep*, 14(6), 540-545.

Jolicœur, P., Dell'Acqua, R., y Crebolder, J. (2000). Multitasking performance deficits: forging links between the attentional blink and the psychological refractory period. En S. Monsell y J. Driver, *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII* (pp. 309-330). MIT Press.

Kavcic, V., y Duffy, C. J. (2003). Attentional dynamics and visual perception: mechanisms of spatial disorientation in Alzheimer's disease. *Brain*, 126(5), 1173-1181.

Kavcic, V., y Scheid, E. (2011). Attentional blink in patients with multiple sclerosis. *Neuropsychologia*, 49(3), 454-460.

Kleitman, N., y Jackson, D. P. (1950). *Variations in body temperature and in performance under different watch schedules*. Naval Medical Research Institute.

Kripke, D. F. (1974). Ultradian rhythms in sleep and wakefulness. *Advances in sleep research*, 1, 305-325.

Kuhlman, S. J., Craig, L. M., y Duffy, J. F. (2018). Introduction to chronobiology. *Cold Spring Harbor perspectives in biology*, 10(9), a033613.

Lahar, C. J., Isaak, M. I., y McArthur, A. D. (2001). Age differences in the magnitude of the attentional blink. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 8(2), 149-159.

Lavie, P., y Scherson, A. (1981). Ultrashort sleep-waking schedule. I. Evidence of ultradian rhythmicity in 'sleepability'. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 52(2), 163-174.

Lezak, M. D., Howieson, D. B., Loring, D. W., y Fischer, J. S. (2004). *Neuropsychological assessment*. Oxford University Press.

- Li, C. S. R., Lin, W. H., Yang, Y. Y., Huang, C. C., Chen, T. W., y Chen, Y. C. (2002). Impairment of temporal attention in patients with schizophrenia. *Neuroreport*, 13(11), 1427-1430.
- Louzada, F., y Menna-Barreto, L. (2007). *O sono na sala de aula: tempo escolar e tempo biológico*. Vieira e Lent.
- Lowrey, P. L., y Takahashi, J. S. (2004). Mammalian circadian biology: elucidating genome-wide levels of temporal organization. *Annual Review of Genomics and Human Genetics*, 5, 407-441.
- Lu, Z. L., Neuse, J., Madigan, S., y Doshier, B. A. (2005). Fast decay of iconic memory in observers with mild cognitive impairments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(5), 1797-1802.
- MacLean, M. H., y Arnell, K. M. (2012). A conceptual and methodological framework for measuring and modulating the attentional blink. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(6), 1080-1097.
- Maki, W. S., y Padmanabhan, G. (1994). Transient suppression of processing during rapid serial visual presentation: Acquired distinctiveness of probes modulates the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(4), 499-504.
- Manly, T., Lewis, G. H., Robertson, I. H., Watson, P. C., y Datta, A. K. (2002). Coffee in the cornflakes: time-of-day as a modulator of executive response control. *Neuropsychologia*, 40(1), 1-6.
- Martens, S., y Wyble, B. (2010). The attentional blink: Past, present, and future of a blind spot in perceptual awareness. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(6), 947-957.
- Martens, S., Munneke, J., Smid, H., y Johnson, A. (2006). Quick minds don't blink: Electrophysiological correlates of individual differences in attentional selection. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(9), 1423-1438.

Marques, M. D. (2007). Ritmos biológicos y ciclos ambientales: sincronización. En D. Golombek (Ed). *Cronobiología Humana-Ritmos y relojes biológicos en la salud y en la enfermedad* (pp.123-134). Universidad Nacional de Quilmes Editorial.

McMorris, C. A., Brown, S. M., y Bebko, J. M. (2013). An examination of iconic memory in children with autism spectrum disorders. *Journal of autism and developmental disorders*, 43(8), 1956-1966.

Mohawk, J. A., Green, C. B., y Takahashi, J. S. (2012). Central and peripheral circadian clocks in mammals. *Annual review of neuroscience*, 35, 445-462.

Moray, N. (1959). Attention in dichotic listening: Affective cues and the influence of instructions. *Quarterly journal of experimental psychology*, 11(1), 56-60.

Monk, T. H. (2005). The post-lunch dip in performance. *Clinics in sports medicine*, 24(2), e15-e23.

Moore, R. Y., y Eichler, V. B. (1972). Loss of a circadian adrenal corticosterone rhythm following suprachiasmatic lesions in the rat. *Brain research*. 42, 201-206.

Moore-Ede, M. C., Sulzman, F. M., y Fuller, C. A. (1982). *The clocks that time us*. Harvard University Press.

Neisser, U. (2014). *Cognitive psychology: Classic edition*. Psychology Press.

Olivers, C. N., y Meeter, M. (2008). A boost and bounce theory of temporal attention. *Psychological review*, 115(4), 836.

Olivers, C. N., y Nieuwenhuis, S. (2005). The beneficial effect of concurrent task-irrelevant mental activity on temporal attention. *Psychological science*, 16(4), 265-269.

Olivers, C. N., y Nieuwenhuis, S. (2006). The beneficial effects of additional task load, positive affect, and instruction on the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(2), 364.

Olivers, C. N., Van Der Stigchel, S., y Hulleman, J. (2007). Spreading the sparing: Against a limited-capacity account of the attentional blink. *Psychological research*, 71(2), 126-139.

Palmer, J. D. (1976). *An introduction to biological rhythms*. Academic Press.

Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological bulletin*, 116(2), 220.

Pashler, H. (2000). Task Switching and Multitask Performance. En S. Monsell y J. Driver, *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII* (pp. 277-308). MIT Press.

Pittendrigh, C. S. (1954). On temperature independence in the clock system controlling emergence time in *Drosophila*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 40(10), 1018.

Posner M, y Rafal R. (1987) Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. En: M. Meier, A. Benton, L. Diller, (Eds). *Neuropsychological rehabilitation* (pp. 182–201). Guilford Press.

Ralph, M.R., (1996). Circadian rhythms mammalian aspects. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 7 (6), 821-830.

Ramírez, C., García, A., y Valdez, P. (2012). Identification of circadian rhythms in cognitive inhibition and flexibility using a Stroop task. *Sleep and Biological Rhythms*, 10(2), 136-144.

Ramírez, C., García, A., y Valdez, P. (2015a). Ritmos biológicos. En P. Valdez (Ed), *Cronobiología Respuestas psicofisiológicas al tiempo* (pp.17-33). Editorial Trillas.

Ramírez, C., García, A., y Valdez, P. (2015b). Ritmos circadianos. En P. Valdez (Ed), *Cronobiología Respuestas psicofisiológicas al tiempo* (pp.35-57). Editorial Trillas.

Ramírez, C., Talamantes, J., García, A., Morales, M., Valdez, P., y Menna-Barreto, L. (2006). Circadian rhythms in phonological and visuospatial storage components of working memory. *Biological Rhythm Research*, 37(5), 433-441.

Raymond, J. E., Shapiro, K. L., y Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(3), 849.

Richter, C. P. (1922). A Behavioristic Study of the Activity of the Rat. *Comparative Psychology Monographs*, 1, 2, 56.

Sakitt, B. (1975). Locus of short-term visual storage. *Science*, 190(4221), 1318-1319.

Schmidt, C., Collette, F., Cajochen, C., y Peigneux, P. (2007). The influences of time of day and circadian preference on cognitive functions: a comparison of two temporal aspects. *Cognitive neuropsychology*, 24(7), 755-789.

Shapiro, K. L., Raymond, J. E., y Arnell, K. M. (1994). Attention to visual pattern information produces the attentional blink in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental psychology: Human perception and performance*, 20(2), 357.

Shenfield, L., Beanland, V., Filtness, A., y Apthorp, D. (2020). The impact of sleep loss on sustained and transient attention: an EEG study. *PeerJ*, 8, e8960.

Shin, J. C., Chang, S. y Cho, Y. S. (2015). Adjustment to subtle time constraints and power law learning in rapid serial visual presentation. *Frontiers in Psychology*, 6, 1748.

Simpson, S., y Galbraith, J. J. (1906). IV.—Observations on the Normal Temperature of the Monkey and its Diurnal Variation, and on the Effect of Changes in the Daily Routine on this Variation. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 45(1), 65-104.

Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological monographs: General and applied*, 74(11), 1.

Stephan, F. K. y Zucker, I. (1972). Circadian rhythms in drinking behavior and locomotor activity of rats are eliminated by hypothalamic lesions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 69(6), 1583-1586

Sternberg, R. J., y Sternberg, K. (2012). *Cognitive Psychology*. Wadsworth.

Stuss, D. T. (2011). Functions of the frontal lobes: relation to executive functions. *Journal of the International Neuropsychological Society: JINS*, 17(5), 759.

Stuss, D. T., y Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological research*, 63(3-4), 289-298.

Taatgen, N. A., Juvina, I., Schipper, M., Borst, J. P., y Martens, S. (2009). Too much control can hurt: A threaded cognition model of the attentional blink. *Cognitive psychology*, 59(1), 1-29.

Tang, M. F., Badcock, D. R. y Visser, T. A. (2014). Training and the attentional blink: Limits overcome or expectations raised?. *Psychonomic Bulletin & Review*, 21(2), 406-411.

Tassi, P., y Muzet, A. (2000). Sleep inertia. *Sleep medicine reviews*, 4(4), 341-353.

Telford, C. W. (1931). The refractory phase of voluntary and associative responses. *Journal of Experimental Psychology*, 14(1), 1.

Treisman, A. M. (1964). The effect of irrelevant material on the efficiency of selective listening. *The American Journal of Psychology*, 77(4), 533-546.

Tucker, P., Folkard, S., y Macdonald, I. (2003). Rest breaks and accident risk. *The Lancet*, 361(9358), 680.

Valdez, P. (2009). Neuropsicología. En: C.H. García, M.G. Muñiz, J. Montalvo (Dirs.). *Conceptos de psicología. Volumen 2*, pp. 97-130. México: Editorial Trillas

Valdez, P. (2015). Ritmos biológicos. En P. Valdez (Ed), *Cronobiología Respuestas psicofisiológicas al tiempo* (pp.17-33). Editorial Trillas.

Valdez, P. (2019a). Focus: Attention Science: Circadian Rhythms in Attention. *The Yale journal of biology and medicine*, 92(1), 81.

Valdez, P. (2019b). Homeostatic and circadian regulation of cognitive performance. *Biological Rhythm Research*, 50(1), 85-93.

Valdez, P., Nava, G., Tirado, H., Frías, M., y Corral, V. (2005). Importancia de las funciones ejecutivas en el comportamiento humano: implicaciones en la investigación con niños. En: Frías, M., Corral, V (Eds.). *Niñez, adolescencia y problemas sociales* pp. 65-81. CONACYT-UniSon.

Valdez, P., Ramírez, C., y García, A. (2012). Circadian rhythms in cognitive performance: implications for neuropsychological assessment. *ChronoPhysiology and Therapy*, 2, 81-92.

Valdez, P., Ramírez, C., y García, A. (2014). Circadian rhythms in cognitive processes: implications for school learning. *Mind, Brain, and Education*, 8(4), 161-168.

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.

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.

Valdez, P., Reilly, T., y Waterhouse, J. (2008). Rhythms of mental performance. *Mind, Brain, and Education*, 2(1), 7-16.

Valdez, P., Ramírez, C., y Téllez, A. (1998). Alteraciones del ciclo dormir-vigilia. En A. Téllez (Ed), *Trastornos del sueño: diagnóstico y tratamiento* (pp. 193-230). Editorial Trillas.

Visser, T. A., y Ohan, J. L. (2011). Is all sparing created equal? Comparing lag-1 sparing and extended sparing in temporal object perception. *Journal of experimental psychology: human perception and performance*, 37(5), 1527.

Visser, T. A., Zuvic, S. M., Bischof, W. F., y Di Lollo, V. (1999). The attentional blink with targets in different spatial locations. *Psychonomic bulletin & review*, 6(3), 432-436.

Waugh, N. C., y Norman, D. A. (1965). Primary memory. *Psychological review*, 72(2), 89.

Wood, N., y Cowan, N. (1995). The cocktail party phenomenon revisited: how frequent are attention shifts to one's name in an irrelevant auditory channel?. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(1), 255.

Wright Jr, K. P., Hull, J. T., y Czeisler, C. A. (2002). Relationship between alertness, performance, and body temperature in humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 283(6), R1370-R1377.

Wyble, B., Bowman, H., y Nieuwenstein, M. (2009). The attentional blink provides episodic distinctiveness: sparing at a cost. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 35(3), 787.

Apéndices

Apéndice A. Carta de consentimiento informado

Monterrey, N. L. a: _____ de _____

Por medio de la presente hago constar que estoy enterado (a) de los objetivos que persigue la investigación: **“Ritmos circadianos en el límite de la capacidad atencional”**, así como 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, sólo significa que estoy enterado (a) y acepto participar voluntariamente en la investigación mencionada.

Nombre del Colaborador (a)

Firma del colaborador(a)

Apéndice B. 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): Kínder: _____ Primaria: _____ Secundaria: _____ Preparatoria: _____

Profesional: _____

Grado escolar actual: _____ Turno: _____ Grupo: _____

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

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

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

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

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

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

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

Motivo: _____

¿Ha tomado medicamentos por un período prolongado (meses)? Sí: _____ No: _____ ¿Cuáles?

Edad: _____ Medicamento: _____ Número de meses: _____

Edad: _____ Medicamento: _____ Número de meses: _____

¿Ha consumido alguna droga? Sí: No: Desde qué edad: Las consume actualmente Sí: 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)? Sí: ___ 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: _____

Apéndice C. Autoevaluación de la fase circadiana
(Horne y Ostberg 1976, Traducción: Téllez y Valdez, 1998)

Nombre: _____ Fecha: _____

Instrucciones:

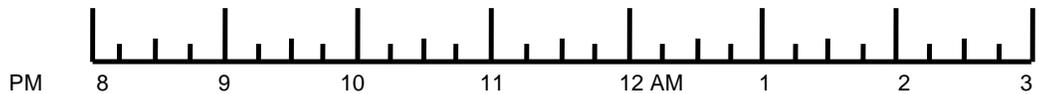
1. Lea cada pregunta con cuidado antes de contestar.
2. Responda todas las preguntas.
3. Responda las preguntas en el orden en que aparecen.
4. Cada pregunta debe contestarse independientemente de las otras. NO revise sus respuestas anteriores.
5. Para cada pregunta marque con una cruz sólo una respuesta.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

CUESTIONARIO

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



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



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

- No dependo
- Dependo un poco
- Dependo mucho
- Dependo totalmente

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

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

- Muy difícil
- Difícil
- Fácil
- Muy fácil

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

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

- Nada despejado
- Un poco despejado
- Despejado
- Muy despejado

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

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

- Muy poca
- Poca
- Regular
- Mucha

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

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

- Muy cansado
- Cansado
- Descansado
- Muy descansado

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

8. Cuando no tiene nada que hacer el día siguiente, ¿a qué hora se acuesta en comparación con lo que acostumbra?

- Casi nunca (o nunca) más tarde
- Menos de una hora más tarde
- 1 - 2 horas más tarde
- Más de 2 horas más tarde

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

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

- En muy buena forma
- En buena forma
- Sería difícil
- Sería muy difícil

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

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



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

- 8 - 10 AM
- 11 AM - 1 PM
- 3 - 5 PM
- 7 - 9 PM

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

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

- Nada cansado
- Un poco cansado
- Cansado
- Muy cansado

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

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

- Despertaría a la hora acostumbrada y ya no dormiría
- Despertaría a la hora acostumbrada y me sentiría somnoliento
- Despertaría a la hora acostumbrada y me volvería a dormir enseguida
- Despertaría más tarde de lo acostumbrado

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

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

- Sólo dormiría después de terminar de trabajar
- Tomaría una siesta antes del trabajo y dormiría bien después del trabajo
- Dormiría bien antes de trabajar y tomaría una siesta después del trabajo
- Sólo dormiría antes de trabajar

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

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

- 8-10 AM
- 11 AM-1 PM
- 3-5 PM
- 7-9 PM

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

16. Suponga que ha decidido hacer ejercicio dos días por semana y un amigo lo invita de 10 a 11 PM ¿cómo cree que se sentiría?

- En muy buena forma
- En buena forma
- Sería difícil
- Sería muy difícil

| |
|--|
| |
| |
| |
| |

Apéndice D. 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 | Demasia do |
| ¿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? | | | | | | | |

Apéndice E. Cuestionario de hábitos de sueño

Nombre: _____ Fecha: _____

Este cuestionario pretende conocer a qué horas duerme normalmente durante las clases o mientras trabaja. Por favor, piense cuidadosamente antes de responder y conteste lo más preciso y específico posible. Contesto pensando en una semana normal reciente, es decir, que no haya viajado, tomado vacaciones ni tenido una crisis familiar. Gracias.

La hora en que se ACUESTA A DORMIR es el momento en el que ya está en la cama tratando de quedarse dormido.

| Pregunta | Horas | Minutos | PM | AM |
|--|-------|---------|----|----|
| ¿Qué es lo más temprano que se ACUESTA A DORMIR la noche anterior a un día de trabajo o escuela? | | | | |
| ¿Qué es lo más tarde que se ACUESTA A DORMIR la noche anterior a un día de trabajo o escuela? | | | | |
| ¿Cuál es la hora en que generalmente se ACUESTA A DORMIR la noche anterior a un día de trabajo o escuela? | | | | |

¿Qué tan constante es la hora en que se ACUESTA A DORMIR las noches previas a un día de trabajo o escuela? Se mantiene entre (marque debajo de una de las opciones):

| 0-15 min | 16-30 min | 31-45 min | 46-60 min | 61-75 min | 76-90 min | 91-105 min | 106-120 min | 2-3 horas | 3-4 horas | más de 4 horas |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------|----------------|
| | | | | | | | | | | |

| Pregunta | Horas | Minutos | PM | AM |
|---|-------|---------|----|----|
| ¿Qué es lo más temprano que se ACUESTA A DORMIR la noche anterior a un día libre (por ejemplo, el fin de semana)? | | | | |
| ¿Qué es lo más tarde que se ACUESTA A DORMIR la noche anterior a un día libre (por ejemplo, el fin de semana)? | | | | |
| ¿Cuál es la hora en que generalmente se ACUESTA A DORMIR la noche anterior a un día libre (por ejemplo, el fin de semana)? | | | | |

¿Qué tan constante es la hora en que se ACUESTA A DORMIR las noches previas a un día libre (por ejemplo, el fin de semana)? Se mantiene entre (marque debajo de una de las opciones):

| 0-15 min | 16-30 min | 31-45 min | 46-60 min | 61-75 min | 76-90 min | 91-105 min | 106-120 min | 2-3 horas | 3-4 horas | más de 4 horas |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------|----------------|
| | | | | | | | | | | |

La hora en que se LEVANTA es el momento en el que ya está fuera de la cama y empieza su día.

| Pregunta | Horas | Minutos | PM | AM |
|---|-------|---------|----|----|
| ¿Qué es lo más temprano que se LEVANTA un día de trabajo o escuela? | | | | |
| ¿Qué es lo más tarde que se LEVANTA un día de trabajo o escuela? | | | | |
| ¿Cuál es la hora en que generalmente se LEVANTA un día de trabajo o escuela? | | | | |

Durante los días de escuela o trabajo ¿Qué tan constante es la hora en que se LEVANTA?

Se mantiene entre (marque debajo de una de las opciones):

| 0-15 min | 16-30 min | 31-45 min | 46-60 min | 61-75 min | 76-90 min | 91-105 min | 106-120 min | 2-3 horas | 3-4 horas | más de 4 horas |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------|----------------|
| | | | | | | | | | | |

| Pregunta | Horas | Minutos | PM | AM |
|--|-------|---------|----|----|
| ¿Qué es lo más temprano que se LEVANTA un día libre (por ejemplo, el fin de semana)? | | | | |
| ¿Qué es lo más tarde que se LEVANTA un día libre (por ejemplo, el fin de semana)? | | | | |
| ¿Cuál es la hora en que generalmente se LEVANTA un día libre (por ejemplo, el fin de semana)? | | | | |

Durante los días libres (por ejemplo, en fin de semana) ¿Qué tan constante es la hora en que se LEVANTA?

Se mantiene entre (marque debajo de una de las opciones):

| 0-15 min | 16-30 min | 31-45 min | 46-60 min | 61-75 min | 76-90 min | 91-105 min | 106-120 min | 2-3 horas | 3-4 horas | más de 4 horas |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------|----------------|
| | | | | | | | | | | |

¿Generalmente cuánto tiempo tarda en quedarse dormido a partir de que empieza a intentarlo?

_____ minutos

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

_____ minutos

Apéndice F. Escala de somnolencia 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

Apéndice G. Encuesta Diaria

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:
 o ____ Sí ____ _____

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

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

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

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

Apéndice H. Diario de alimentación

Nombre _____ Fecha: _____

Anotar TODOS los alimentos que consuma durante el día desde que se despertó hasta que se acostó. Favor de incluir detalles acerca de las cantidades e ingredientes de la comida, en caso de ser un producto empacado, incluir marca y contenido.

| Comida | Ingredientes | Marca comercial | Cantidad (gramos, mililitros) |
|--------|--------------|-----------------|----------------------------------|
| | | | |

Especifique si tiene restricciones alimenticias (alergias, vegetarianismo, etc.):

Apéndice I. Escalas visuales analógicas para el registro de somnolencia y cansancio

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.....

CANSANCIO

Nombre: _____

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



Registrador..... Registro.....
