

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE PSICOLOGIA



RITMOS CIRCADIANOS EN LOS PROCESOS
ATENCIONALES DEL SER HUMANO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
Doctor en Filosofía con Especialidad en Psicología

PRESENTA:

PABLO VALDEZ RAMIREZ

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L. ENERO DE 2005

P. V. R.

RITMOS CIRCADIANOS EN LOS PROCESOS
ATENCIONALES DEL SER HUMANO

TD
QP84
.6
.V3
2005
c.1

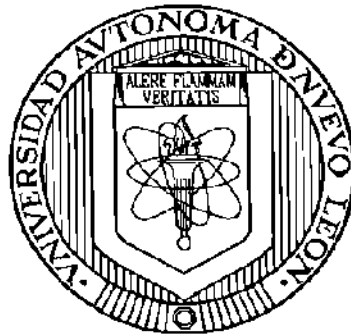
2005



1080126925

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Psicología



Ritmos circadianos en los procesos atencionales
del ser humano

T E S I S

Que para obtener el grado de
Doctor en Filosofía con Especialidad en Psicología

Presenta,

Pablo Valdez Ramírez

San Nicolás de los Garza, N.L., enero de 2005.

TD
QP84
.4
.V3
2005



Dedicatoria

A Mercedes Ramírez, Guadalupe Nava,

Zarel, Zahir y Yazel

A la poesía

"Se han acumulado tantos recuerdos
inútiles, pero tantos otros bellos..."

Pablo Valdez Ramírez

Agradecimientos

- A las participantes, por su enorme esfuerzo y entusiasta colaboración en todas las etapas de este trabajo, especialmente durante la sesión de registro.
- A todas las personas que colaboraron en la obtención, análisis y discusión de los datos de esta tesis. Espero que todo el tiempo que dedicaron a este trabajo haya sido útil para su formación como investigadores. En particular a Candelaria Ramírez, Aída García, Javier Talamantes, Jorge Borrani.
- A mi asesor: Dr. Ernesto López Ramírez.
- A los revisores: Dra. Carolina Escobar, Dra. Concepción Rodríguez, Dr. Victor Padilla y Dr. René Landero.
- A Dr. Luiz Menna-Barreto, por sus comentarios a este trabajo y por proporcionarme el programa Cosinor, desarrollado por la Dra. Amelia Benedito Silva.
- Al Grupo Latinoamericano de Cronobiología.
- Al Grupo de Cronobiología de Monterrey.
- A los compañeros de generación, por la discusión de este trabajo en sus diversas etapas. Martha Patricia Zavala, Jesús Castillo y Rolando Lozano.
- Al Director de la Facultad de Psicología: Mtro. Arnoldo Téllez López.

Índice

Resumen	4
Capítulo 1. Introducción	5
Problema de investigación.....	12
Objetivo.....	15
Objetivos específicos:.....	15
Limitaciones y delimitaciones.....	16
Capítulo 2. Marco teórico	19
Ritmos circadianos.....	19
Ritmos circadianos en la ejecución.....	30
Componentes de la atención.....	40
Capítulo 3. Método	53
Participantes.....	53
Instrumentos.....	53
Procedimiento.....	59
Análisis de datos.....	67
Diseño de investigación.....	69
Capítulo 4. Resultados	70
Tiempo de reacción.....	82
Prueba de ejecución continua.....	85
Prueba de Stroop.....	88
Capítulo 5. Discusión y conclusiones	95
Conclusiones.....	107
Referencias bibliográficas	109

RITMOS CIRCADIANOS EN LOS PROCESOS ATENCIONALES DEL SER HUMANO

Resumen

Se han observado variaciones circadianas en la somnolencia, el cansancio y en la ejecución de muchas tareas cognoscitivas, sin embargo no se conoce cuál es el proceso cerebral y cognoscitivo que podría ser la base de estas variaciones. El objetivo de este trabajo es determinar la posible existencia de ritmos circadianos en cada uno de los componentes atencionales de acuerdo con un modelo neuropsicológico: alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva y vigilancia (concentración).

Participaron 15 mujeres voluntarias, estudiantes universitarias, de 16 a 21 años de edad. Se registraron durante 30 horas continuas, en una cámara aislada, con el método de rutina constante, que implica mantener constantes las siguientes condiciones: temperatura ambiental, iluminación, postura corporal, ingestión de calorías y vigilia continua. Se registró la temperatura rectal cada minuto por medio de un Mini-Logger, cada hora se registraron: el autorreporte de somnolencia y cansancio por medio de una escala visual analógica, así como las respuestas ante una tarea de ejecución continua y una tarea tipo Stroop. Se analizaron los datos de 8 participantes, que contaron con un registro completo de la temperatura rectal.

Se encontró una disminución progresiva en la ejecución y en la velocidad para responder en todas las variables a medida que transcurrió la sesión de 30 horas en la rutina constante. Se encontraron variaciones circadianas en los indicadores de alerta tónica, alerta fásica y atención selectiva, pero no en el indicador de concentración. En conclusión, las variaciones en alerta tónica, alerta fásica y atención selectiva pueden ser la base de las oscilaciones circadianas en la ejecución cognoscitiva; mientras que el cansancio y la privación de sueño afectan la concentración. Estos resultados tienen implicaciones teóricas, pero también tienen implicaciones sobre el desempeño durante la jornada laboral, la privación del sueño y el trabajo nocturno o rotatorio.

PALABRAS CLAVE: Ritmos circadianos, ejecución, atención, alerta, vigilancia, concentración, neuropsicología.

Capítulo 1. Introducción

El tiempo es una dimensión básica que se ha propuesto para entender qué es la materia, el origen de la misma y el origen del universo. Al margen de una discusión filosófica acerca del tiempo, es factible cuestionar cómo interactúan los seres vivos con esta dimensión. Una forma de empezar a dar respuesta a esta pregunta surgió recientemente en la historia de la ciencia, fue el descubrimiento de que los organismos funcionan como relojes, esto es, son capaces de generar estructuras que miden y producen respuestas ante el tiempo. El descubrimiento de estos relojes o ritmos biológicos ha ido cambiando la forma en que se estudian muchos procesos biológicos y fisiológicos. Sin embargo, el estudio de este fenómeno es relativamente reciente, empezó a consolidarse hace apenas 50 años. El impacto de estos ritmos en el comportamiento humano es aún más reciente.

El ciclo biológico que más se ha estudiado es el ritmo circadiano que tiene un período cercano a 24 horas. En

el ser humano se han observado variaciones circadianas en casi todas las funciones, esto incluye variables como la temperatura corporal, la secreción de casi todas las hormonas, la actividad metabólica, cardíaca, pulmonar, así como diversos parámetros de la actividad del sistema nervioso (Moore-Ede, Sulzman y Fuller, 1982). La existencia de ritmos circadianos en la actividad del sistema nervioso, en especial del cerebro (Aeschbach y cols., 1999) plantea la posibilidad de que varios aspectos psicológicos (cognoscitivos o de comportamiento) presenten variaciones circadianas. De hecho se han documentado variaciones circadianas en la velocidad para responder, en la memoria y en algunas variables atencionales (Valdez, 1988). Sin embargo, en la cronobiología (disciplina que estudia los ritmos biológicos) se consideran estas variables como secundarias a funciones fisiológicas como la temperatura corporal o la secreción de algunas hormonas, por lo que se les llama ritmos en la ejecución. La primera y más sencilla explicación del mecanismo de generación de los ritmos circadianos en la ejecución fue propuesta por Kleitman (1963), quien

plantea que estas variaciones en el comportamiento y en procesos cognoscitivos se producen a consecuencia directa de los cambios en el metabolismo corporal (por lo tanto cerebral). A esta explicación se le denominará en este trabajo "teoría unifactorial" de las variaciones circadianas en la ejecución. Una forma de medir los cambios en el metabolismo es a través del registro de la temperatura corporal. Los primeros registros de la temperatura corporal y de funciones cognoscitivas encontraron efectivamente una correlación entre las oscilaciones en la temperatura corporal y las variables de ejecución (tiempo de reacción, memoria, etc) (Kleitman y Jackson, 1950). Siguiendo otra línea de investigación, otros autores han encontrado que ocurre una disminución progresiva en la ejecución debido a la fatiga o a la somnolencia durante las horas en que la persona acostumbra dormir (Åkerstedt y cols., 2004). Este factor se considera homeostático, porque implica una reducción progresiva en la capacidad para responder a medida que transcurre el tiempo, con la acumulación de fatiga y con la acumulación de horas de privación del dormir; como todo mecanismo homeostático,

descansar y dormir produce una recuperación en la capacidad de respuesta de la persona. Esta "teoría bifactorial", fue propuesta originalmente por Borbély (1982). Como puede observarse, la teoría de Borbély no descarta la explicación de Kleitman, sino que agrega un segundo factor, indicando que el nivel de ejecución que observamos en una persona es la suma de la influencia del reloj circadiano y el mecanismo homeostático vinculado con la fatiga y la privación del dormir. Otros autores han propuesto agregar un tercer factor a los dos que propone Borbély, sin embargo este tercer factor tiene una contribución relativamente menor en comparación con los dos factores que propone Borbély. Los otros factores que se han propuesto son el ritmo ultradiano de actividad y descanso de 90 minutos (Kripke, 1974) o la inercia del despertar (Tassi y Muzet, 2000). En el presente trabajo no se analiza este tercer factor, ya que los mecanismos que se han propuesto como un tercer factor tienen una influencia leve sobre la ejecución, por lo que solamente se discuten los datos con respecto a las teorías

unifactorial de Kleitman y la teoría bifactorial de Borbély.

A la fecha no se ha determinado si las variaciones rítmicas que se observan en la ejecución son manifestaciones directas de la actividad del reloj circadiano o fenómenos secundarios derivados de alguna variable fisiológica dirigida por el reloj circadiano. Tampoco se ha determinado si todas estas variables de ejecución fluctúan de forma independiente o si algunos aspectos cognoscitivos presentan ritmos circadianos y son responsables de las oscilaciones en otras funciones cognoscitivas (Carrier y Monk, 2000). Por ejemplo, es factible que exista un ritmo circadiano en algún aspecto de la atención y que esto afecte la ejecución en muchas otras tareas, como velocidad de ejecución, de memoria, etc.

Por otro lado, en la psicología cognoscitiva, disciplina que estudia los procesos cognoscitivos humanos (Neisser, 1967), existen muy pocas referencias acerca de las variaciones circadianas en funciones cognoscitivas. Esta tesis se ubica en un contexto

interdisciplinario, analiza un fenómeno que se aborda por dos disciplinas (cronobiología y psicología cognoscitiva), casi sin contacto entre ellas, analiza las variaciones circadianas en un proceso cognoscitivo del ser humano: la atención. A la vez, este proceso cognoscitivo se toma como una función cerebral (neuropsicológica).

La existencia de ritmos circadianos en la atención tiene implicaciones teóricas y metodológicas importantes con respecto a una gran cantidad de hallazgos en psicología que se han obtenido partiendo del supuesto de que nos mantenemos constantes y por lo tanto no se toma en cuenta la hora del día en que se llevan a cabo las observaciones o experimentos. En consecuencia es relevante analizar qué aspectos de nuestro comportamiento presentan variaciones circadianas, qué características tienen estas variaciones, así como las implicaciones de estos ciclos sobre la investigación y las aplicaciones clínicas en psicología. Es importante mencionar al respecto que en los estudios en psicología, especialmente en psicología

cognoscitiva, no aparecen referencias específicas a la posibilidad de que los fenómenos cognoscitivos presenten fluctuaciones circadianas (Lachman, Lachman y Butterfield, 1979). Tampoco se tienen contempladas las implicaciones teóricas o metodológicas de este tipo de fenómenos. Apenas empiezan a aparecer algunos trabajos donde se menciona la importancia de los ritmos circadianos con respecto a los procesos cognoscitivos, lo que puede considerarse como la estimación del tiempo o "conciencia temporal" (Dawson, 2004). El estudio de estos fenómenos puede abrir un campo de conocimiento no explorado aún en la psicología cognoscitiva. Además, la existencia de variaciones circadianas en la atención tiene repercusiones prácticas en la educación, el trabajo nocturno o rotatorio (Åkerstedt y Froberg, 1981) y en el desempeño de labores que requieren de estos procesos atencionales, como el conducir un avión, automóvil o autobús (Hadj-Mabrouk, Hadj-Mabrouk y Dogui, 2001). Para analizar las variaciones circadianas en la atención es necesario contar con un modelo neuropsicológico de este proceso cognoscitivo. En el presente trabajo se usa el modelo neuropsicológico de

la atención que propone Posner (Posner y Rafal, 1987), que incluye 4 componentes: alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva y vigilancia (concentración).

Problema de investigación

Uno de los problemas fundamentales con respecto a las variaciones circadianas en la ejecución es determinar la relación de estas variables de comportamiento con el reloj circadiano. Una teoría básica es que los ciclos en el comportamiento son una respuesta pasiva a las oscilaciones en el metabolismo general del organismo (Kleitman, 1963). Una forma de verificar esta teoría consiste en determinar que todos los cambios en el comportamiento se mantienen en fase con las variaciones metabólicas. El ciclo de temperatura corporal es el indicador básico de estos ciclos metabólicos, por lo que la forma de probar la teoría de Kleitman implica demostrar que todos los cambios en el comportamiento se mantienen en fase con el ciclo de temperatura corporal.

Una segunda hipótesis plantea que los cambios metabólicos y los cambios en el comportamiento son dos manifestaciones independientes del reloj biológico. En cambio, se podría probar que los ciclos metabólicos y de comportamiento son independientes si se demuestran relaciones de fase diferentes para cada variable de comportamiento o si se demuestra que las variables de comportamiento siguen fases diferentes al cambiar las condiciones de sincronización ambiental.

Otro problema fundamental en este campo (vinculado con el problema anterior) es determinar si todas las variables de comportamiento oscilan o si solamente algunas oscilan y esto modifica todo el comportamiento. Podemos expresarlo de la siguiente forma: una hipótesis plantea que las oscilaciones en el metabolismo corporal implican ciclos en el metabolismo cerebral, por lo que todas las funciones cognoscitivas y de comportamiento oscilan como respuesta secundaria a estas oscilaciones cerebrales. La segunda hipótesis plantea que los ciclos en el metabolismo afectan de forma específica algunas áreas cerebrales, lo que produce cambios en funciones

cerebrales que son cruciales para el desempeño de todas las tareas cognoscitivas y de comportamiento. Se puede probar la primera hipótesis si se demuestra que todas las variables de comportamiento se mantienen en fase con las oscilaciones en el metabolismo corporal. Por otro lado, se puede probar la segunda hipótesis si se demuestran oscilaciones circadianas en funciones cerebrales básicas para la ejecución de muchas tareas cognoscitivas y de comportamiento. Una función cerebral y cognoscitiva básica es la atención, la cual se requiere para la ejecución de todas las tareas cognoscitivas o de comportamiento. Tomar la atención como un proceso cerebral requiere usar un modelo neuropsicológico, el cual plantea que este proceso implica cuatro componentes (alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva y vigilancia), que requieren de la participación de dos sistemas cerebrales: el sistema reticular y el sistema prefrontal. Lo antes planteado se puede expresar de forma central en la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles componentes atencionales presentan variaciones circadianas?

Objetivo

El presente trabajo pretende determinar si existen variaciones circadianas en las funciones atencionales como un proceso cerebral básico de acuerdo con un modelo neuropsicológico, por lo que de forma específica se analiza la posible existencia de variaciones circadianas en cuatro componentes atencionales: alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva y vigilancia (concentración).

Objetivos específicos:

Determinar la existencia de ritmos circadianos en:

1. Alerta tónica.
2. Alerta fásica.
3. Atención selectiva.
4. Vigilancia (concentración).

Si se encuentran ritmos circadianos en algunos de los componentes atencionales, será posible determinar:

1. La fase de los ritmos circadianos en cada componente atencional.
2. La relación de fase de los ritmos circadianos en los componentes atencionales con el ritmo circadiano en la temperatura corporal.
3. La relación de fase de los ritmos circadianos en los componentes atencionales con el ciclo de vigilia-sueño.

Limitaciones y delimitaciones

Este tipo de estudios se llevan a cabo con muestras pequeñas, ya que se requiere un control de muchas variables. Sin embargo, una muestra pequeña no permite una generalización directa de los resultados a la población general. Además, en este trabajo solamente se incluyen mujeres, estudiantes universitarias, esto limita también la generalización de los resultados en

cuanto a la población general. Sin embargo, incluir solamente un género también reduce la variabilidad de los resultados.

Por otro lado, algunas condiciones del registro son muy importantes porque pueden afectar los ritmos circadianos, tales como: fumar, tomar alcohol, asistir a fiestas o la privación del dormir. En nuestro medio, los registros se llevan a cabo con personas voluntarias; mientras que en otros países o instituciones se otorga un pago a los participantes. La remuneración a los participantes permite establecer como obligatorias las condiciones de registro. Los registros de este tipo requieren un esfuerzo importante, ya que incluyen un autorregistro del ciclo de vigilia-sueño durante dos semanas, permanecer 30 horas en el laboratorio sin dormir, con una dieta especial y resolviendo una serie de pruebas cada hora. En nuestro medio ha sido muy difícil contar con una participación de varones, que sea voluntaria, activa y con el cumplimiento de las condiciones que se requieren para este tipo de estudios, en cambio, las mujeres que

se han invitado a participar de forma voluntaria se involucran activamente y cumplen con los requerimientos mencionados.

Capítulo 2. Marco teórico

Este trabajo analiza los ritmos circadianos en la atención, por lo que es necesario abordar primero lo que se conoce acerca de los ritmos circadianos en general. Enseguida se describe lo que se conoce acerca de los ritmos circadianos en la ejecución de diversas tareas cognoscitivas. Posteriormente se presenta el modelo neuropsicológico de la atención que se usará en el presente trabajo.

Ritmos circadianos

Desde sus inicios, los seres vivos tuvieron que adaptarse a un medio cíclico, lo cual implica los cambios en la iluminación y temperatura que ocurren debido a los movimientos de rotación y traslación de nuestro planeta. Los mecanismos de adaptación que permiten a los organismos sobrevivir en ambientes muy diferentes y en ocasiones desfavorables, también permitieron que las distintas especies se acoplaran a

un medio cíclico. Existen dos mecanismos posibles de adaptación a los ciclos ambientales: una adaptación reactiva y una adaptación proactiva. La adaptación reactiva implica que los organismos responden pasivamente a las condiciones ambientales, de tal manera que las plantas y animales se activan en el día cuando está presente la luz y hay un aumento en la temperatura ambiental, en cambio reducen su actividad en la noche al no existir iluminación y cuando baja la temperatura ambiental. La adaptación proactiva implica que los organismos desarrollan un mecanismo de medición del tiempo, esto es, generan un reloj interno (Moore-Ede, Sulzman y Fuller, 1982). Este reloj interno les permitiría sincronizar sus actividades a las condiciones ambientales, no solamente responder a ellas, sino responder simultáneamente con los cambios ambientales o incluso responder antes de que ocurran los cambios en el ambiente. Los organismos que logran dar respuestas anticipadas al medio tienen mayores probabilidades de sobrevivir en un ambiente cíclico.

La demostración inicial de que existen relojes o ritmos biológicos proviene de DeMairan (1729/1982), quien observó que una planta que se mueve cíclicamente en condiciones ambientales naturales, lo sigue haciendo cuando se le aísla y permanece en condiciones constantes (iluminación y temperatura constantes). Esta demostración se ha hecho en casi todos los seres vivos, desde las células eucariotes hasta el ser humano. Además, se ha demostrado que los ritmos biológicos están presentes en casi todas las funciones biológicas o fisiológicas de los organismos (Palmer, 1976). La mayor parte de los conocimientos acerca de estos ritmos se han descubierto en los últimos 50 años. Los descubrimientos recientes en este campo tienen implicaciones muy importantes para la salud, por ejemplo: un medicamento puede tener consecuencias muy diferentes dependiendo de la hora del día en que se administre (Reinberg y Smolensky, 1983).

En diversos estudios se ha encontrado que casi toda la fisiología del ser humano cambia de acuerdo con estos ritmos, el ciclo más claro y mejor estudiado se conoce

como ritmo circadiano, porque adopta un período cercano a un día (Touitou, 1998). En el transcurso del día hay variaciones cíclicas en muchas variables que sugieren la posibilidad de que algunas variables psicológicas también presenten ritmos circadianos. Como ejemplos de variables fisiológicas que pueden significar cambios en variables psicológicas se pueden mencionar las fluctuaciones en la secreción de hormonas como el cortisol, la noradrenalina, las gonadotropinas, también se han encontrado variaciones circadianas en la temperatura corporal, la frecuencia cardiaca, la concentración de distintos neurotransmisores en el cerebro, entre otros. Para un inventario de las funciones corporales que presentan ritmos circadianos se recomienda consultar las siguientes referencias: Luce, 1971; Palmer, 1976; Moore-Ede, Sulzman y Fuller, 1982; Reinberg y Smolensky, 1983; Valdez, 1988.

Enseguida se describen las propiedades fundamentales de los ritmos circadianos (Valdez, Ramírez y Téllez, 1998):

1. Los ritmos circadianos son endógenos

La mayor parte de la fisiología de los seres vivos, incluyendo al ser humano, presentan ciclos circadianos. Esto implica que nuestros ritmos siguen presentándose cuando las condiciones ambientales se mantienen constantes, en estas condiciones se observa un ritmo de libre curso, lo cual significa que es cercano pero diferente de 24 h; por lo que se desfasa continuamente del ciclo solar. En el ser humano este ritmo de libre curso tiende a adoptar un período mayor de 24 h (Czeisler y cols., 1999). Los ritmos circadianos empiezan o observarse hacia los 3-4 meses de edad y persisten durante toda la vida adulta de las personas (Duffy y Czeisler, 2002). Antes de los 3 meses de edad y en los ancianos se observan ritmos con un período corto (ultradianos) (Kripke, 1974).

2. Los ritmos circadianos son estables

Aunque el ciclo es diferente para todos los individuos, en una persona específica las fluctuaciones se mantienen estables (Aschoff, 1976), esto significa que para la persona cuyo aumento en la temperatura corporal ocurre a las 16:30 h, todos los días ocurrirá este aumento a la misma hora aproximadamente. El período de los ritmos circadianos tiende a ser muy estable y es semejante en hombres y mujeres (Wever, 1984), sin embargo existen diferencias en la fase, las mujeres tienden a tener una fase adelantada en el ritmo circadiano de temperatura corporal con respecto a los hombres (Baker y cols., 2001). En el ser humano se han encontrado dos tipos de personas de acuerdo con la fase de sus ritmos circadianos: los madrugadores y los trasnochadores, los primeros tienden a despertar y dormir más temprano, mientras los segundos están más activos hacia la noche y tienden a despertar más tarde (Baehr, Revelle y Eastman, 2000).

3. Se mantiene una relación de fase entre las funciones

Los ritmos circadianos de las diferentes funciones del organismo se mantienen en una relación de fase entre ellos (Palmer, 1976). Esto quiere decir que aunque el ciclo en la temperatura corporal es independiente del ciclo en la secreción de cortisol y de noradrenalina, los aumentos y disminuciones en estas funciones tienden a ocurrir en una secuencia y con un intervalo fijo entre ellas. El núcleo supraquiasmático funciona como un marcapaso de los ritmos circadianos, cuando se lesiona esta estructura cerebral los ritmos en la actividad motora de los animales se pierden (Stephan y Zucker, 1972), pero el ciclo en la temperatura corporal puede permanecer intacto, cuando se usa alimento como sincronizador (Krieger y Hauser, 1977). La glándula pineal y su hormona melatonina, también funcionan como un marcapaso de los ritmos circadianos (Arendt y Skene, 2005).

4. Existen varios osciladores circadianos

Los dos osciladores circadianos mejor documentados a la fecha se denominan *X* e *Y*. El oscilador *X* sincroniza las variaciones circadianas en el metabolismo corporal, la temperatura corporal, la excreción urinaria de potasio, la secreción de muchas hormonas como la melatonina, el cortisol, las gonadotrofinas y las hormonas sexuales (estrógenos, progestinas y andrógenos), mientras que el oscilador *Y* sincroniza las oscilaciones circadianas en el ciclo de vigilia-sueño, la temperatura cutánea y la excreción urinaria de calcio (Winfrey, 1967). Los ritmos circadianos no se pueden medir directamente, se usan indicadores para estimar el ritmo, los indicadores más precisos y confiables del oscilador *X* son la secreción de melatonina, la temperatura rectal y la secreción de cortisol (Klerman y cols., 2002). El indicador más preciso del oscilador *Y* es el ciclo de vigilia-sueño. El oscilador *X* es más estable que el oscilador *Y* (Kronauer y cols., 1982; Nakao y cols., 2002). El período de la temperatura corporal tiende a

mantenerse constante a pesar de que cambien las condiciones ambientales, algunos factores que pueden alterar directamente el período de este oscilador son: el alcohol (Richter, 1977), el litio (Kripke y Wyborney, 1980), los bloqueadores en la síntesis de proteínas (Jacklet, 1980) y alteraciones en los genes (Vitaterna, Takahashi y Turek, 2001). La fase del oscilador *X* se puede modificar por: cambios en el calendario de actividades, el trabajo nocturno o rotatorio, así como por los viajes aéreos transmeridionales. El oscilador *Y* es más flexible y se puede modificar por los mismos cambios que afectan la fase del oscilador *X*, pero también por el ejercicio físico, la fatiga, la privación del dormir, una situación emocional o cambios en la alimentación (Moore-Ede, Sulzman y Fuller, 1982).

5. La fase se modula por agentes sincronizantes

Los agentes sincronizantes son las condiciones ambientales que pueden modular la fase del reloj circadiano (Minors y Waterhouse, 1986). En el ser

humano los principales agentes sincronizantes son: el ciclo de iluminación (día/noche, luz/obscuridad) (Monk y Welsh, 2003), el ciclo de alimentación (Stephan, 2002), el ejercicio y la estimulación social (Aschoff, 1976). Los cambios de horario desincronizan los ritmos en las diferentes funciones del organismo. Cuando una persona atraviesa los husos horarios en un viaje aéreo transmeridional (por ejemplo al viajar a Europa), cada función tiene su propio período de adaptación al nuevo horario, su ciclo de vigilia-sueño se ajusta en unos cuantos días, el ciclo en la temperatura corporal tarda una semana y la secreción de nuestras hormonas tarda varias semanas en acoplarse al nuevo horario (Arendt y Marks, 1982). Durante ese período tales funciones se encuentran desincronizadas.

Los calendarios de trabajo también desincronizan los ritmos circadianos. Las personas que trabajan en un turno nocturno tienen dificultades para mantenerse activas y despiertas durante la noche y para dormir durante el día. Lo mismo ocurre en los trabajadores con un turno rotatorio, no logran ajustar la fase de sus

ritmos circadianos, por lo que sufren de somnolencia excesiva y fatiga en las horas de trabajo (noche) e insomnio durante las horas de descanso (día) (Carpentier y Cazamian, 1977; Smith, Colligan y Tasto, 1982). Al parecer esta falta de adaptación a un horario nocturno o rotatorio está vinculada con la inversión de fase durante los días de descanso, esto es, durante estos días los trabajadores se mantienen activos y despiertos durante el día, ya que esto les permite tener contacto con su familia, con su medio social e involucrarse en actividades recreativas (Monk, 2000).

El turno diurno parece ser compatible con los ritmos circadianos, sin embargo las personas que tienen que trabajar en este tipo de turno tienen que levantarse temprano en la mañana, esto puede producir un adelanto en la fase de sus ritmos circadianos, así como una privación parcial y crónica de sueño. Las personas con un calendario de 5 días de trabajo (de lunes a viernes) y 2 de descanso (sábado y domingo) tienden a retrasar y extender su dormir durante los fines de semana (días de descanso) (Webb, 1985). El retraso en la fase del ciclo

de vigilia-sueño puede ser un ajuste en el ritmo circadiano, mientras que la extensión del sueño puede ser un ajuste en la privación parcial del sueño que ocurre durante los días de trabajo (Valdez, Ramírez y García, 2003).

Ritmos circadianos en la ejecución

Se han documentado fluctuaciones circadianas en algunas variables de comportamiento, como la actividad motora, el tiempo de reacción, la memoria, la percepción del tiempo, el nivel de alerta, la somnolencia o el cansancio (Kleitman y Jackson, 1950; Colquhoun, 1971; Folkard, 1980; Valdez, 1988). Tales variaciones circadianas sugieren que podemos responder de forma diferente dependiendo de la hora del día. Sin embargo, los resultados en este campo han sido variables, algunos estudios encuentran un mayor nivel de alerta en la mañana, mientras que otros lo encuentran a mediodía, igual sucede con la memoria, algunos trabajos demuestran un aumento en la ejecución de tareas de memoria en la mañana, pero otros documentan que este

aumento ocurre en distintos momentos del día (mediodía, tarde e incluso en la noche) (Lavie, 1980). Después de revisar la variabilidad de los datos en este campo, Carrier y Monk (2000) concluyen que es necesario tomar en cuenta diversas variables para analizar la posible existencia de ritmos circadianos en procesos cognoscitivos, como la complejidad de la tarea, la edad de las personas que se estudien, el género y el cronotipo (madrugadores o trasnochadores). En este tipo de estudios se han usado diferentes tareas, pero no se ha hecho un análisis de los procesos cerebrales y cognoscitivos básicos involucrados.

La principal teoría que se ha propuesto para explicar las oscilaciones circadianas en la ejecución, fue planteada por Kleitman (1963). De acuerdo con esta teoría, las oscilaciones circadianas en el metabolismo corporal y cerebral afectan la velocidad de los procesos cerebrales, lo que produce cambios de forma secundaria en la ejecución. En el presente trabajo se denomina a esta explicación "teoría unifactorial" de las variaciones circadianas en la ejecución. De acuerdo

con esta teoría, se ha llegado a afirmar que la ejecución se podría predecir a partir del registro de la temperatura corporal, ya que esta es un indicador del nivel en que se encuentra el metabolismo (Kleitman y Jackson, 1950). Sin embargo, es posible que las variaciones en la ejecución sean en sí mismas manifestaciones del reloj biológico, de acuerdo con esta hipótesis tanto la temperatura corporal como las variaciones en la ejecución son indicadores del reloj circadiano. Por otro lado, es posible que las oscilaciones en la ejecución se deban a un efecto directo del reloj sobre el funcionamiento del sistema nervioso central. Este efecto podría ser mediado por los cambios en la temperatura corporal y el metabolismo. El reloj biológico podría modificar la actividad del cerebro de dos maneras: produciendo un cambio generalizado en todo el sistema nervioso o induciendo cambios en uno o varios sistemas cerebrales específicos. Antes se mencionó que se han encontrado oscilaciones circadianas en la ejecución de muchas tareas, pero no se ha llevado a cabo un análisis minucioso de los procesos cognoscitivos involucrados.

Con respecto a este problema existen dos posibilidades: una es que el reloj biológico genere oscilaciones en todo el sistema nervioso, por lo que se producirían variaciones en la ejecución de todo tipo de tareas. La segunda posibilidad es que el reloj biológico produzca cambios en uno o varios sistemas cerebrales específicos y por lo tanto en procesos cognoscitivos específicos. Esto implica que se producirían variaciones circadianas en la ejecución de las tareas que requieran de los procesos afectados, pero no de todas las tareas. Identificar cuales son los procesos básicos que tienen oscilaciones circadianas es fundamental para analizar los sistemas cerebrales involucrados.

Actualmente, la teoría unifactorial de Kleitman (1963) se considera limitada, se sigue aceptando la importancia de las oscilaciones en la temperatura corporal, pero se han propuesto otros mecanismos para entender y predecir las variaciones en la ejecución. El principal mecanismo que se ha propuesto es la fatiga y la somnolencia que se producen con la privación del dormir (Åkerstedt y cols., 2004). Borbély (1982)

propuso dos mecanismos básicos: un reloj circadiano y un proceso homeostático. De acuerdo con esta "teoría bifactorial" el reloj circadiano produce oscilaciones en la ejecución con un período mayor de 24 horas, mientras que el proceso homeostático implica cambios acumulativos en la somnolencia y la fatiga, por lo que implica un deterioro gradual en la ejecución con el paso del tiempo. El dormir y el descanso disminuyen la somnolencia y la fatiga, por lo tanto mejoran la ejecución. La ejecución en cada momento del día depende de la suma de los valores de ambos procesos. Es importante señalar que la teoría bifactorial de Borbély no descarta la explicación de Kleitman, sino que la complementa.

Posteriormente, se han planteado "teorías trifactoriales", las cuales siguen considerando como cruciales los mecanismos propuestos por Kleitman y Borbély. Borbély y Acherman (1999) agregan como tercer factor el ritmo ultradiano en las fases del sueño, que tiene un período de 90 minutos (Kripke, 1974). Folkard y cols. (1999) propusieron otro modelo que incluye como

tercer factor la inercia del sueño, éste se refiere a la tendencia de la somnolencia a perdurar un tiempo después del despertar, por lo que en esos momentos disminuye la ejecución (Tassi y Muzet, 2000; Åkerstedt y cols., 2002). Aunque la mayor parte de los modelos proponen una suma lineal entre los mecanismos que toman en cuenta, se ha planteado que puede ocurrir una interacción no lineal (Jewett y Kronauer, 1999). En el presente trabajo solamente se discuten los datos con respecto a los dos factores que plantean Kleitman y Borbély (que están incluidos también en las teorías trifactoriales), ya que esos dos factores contribuyen de forma fundamental a modificar la ejecución en el tiempo. Los mecanismos que se han propuesto como un tercer factor tienen una influencia menor sobre la ejecución.

Otro problema en este campo es la selección del método para identificar estos ritmos. Se han utilizado tres métodos para estudiar las variaciones circadianas en la fisiología y la ejecución: registros a distintos momentos del día, uso de una rutina constante y

desincronización forzada. Actualmente, los métodos de rutina constante y desincronización forzada se consideran cruciales para demostrar variaciones circadianas en algún proceso fisiológico o de comportamiento, ya que permiten eliminar o controlar las variables que pueden enmascarar los ritmos circadianos (Hanneman, 2001).

Los registros en distintos momentos del día implican registrar dos o más veces durante el día a personas que llevan a cabo de forma regular sus actividades personales y sociales; por lo que este protocolo de investigación no interfiere con los ciclos de vigilia-sueño de las personas. Con este tipo de registros se han observado variaciones circadianas en el tiempo de reacción serial de elección, en tareas de vigilancia (Kraemer y cols., 2000; D'Reaux, Neumann y Rhymer, 2000), en pruebas de cancelación, en la cantidad de dígitos que se pueden repetir, en operaciones aritméticas (Blake, 1967), en tareas de memoria (Baddeley y cols., 1970; Folkard y Monk, 1980), en tareas de búsqueda visual, razonamiento lógico y

matemático (Natale y cols., 2003), en la percepción del tiempo (Kuriyama y cols., 2003), en la estimación de la hora del día (Campbell y cols., 2001) y en una tarea que simula la conducción de un automóvil (Lenné, Triggs y Redman, 1997). Con este tipo de metodología se han observado variaciones en la ejecución en el transcurso del día, sin embargo algunas variables aumentan en la mañana, otras en la tarde y algunas en la noche. Los resultados son frecuentemente contradictorios, de tal forma que en algunos estudios la ejecución mejora en la mañana, pero midiendo la misma variable otro estudio encuentra que la ejecución aumenta en la tarde. Por esta razón, los resultados de este tipo de estudios son muy limitados para establecer conclusiones acerca de las variaciones circadianas en la ejecución.

Una rutina constante consiste en medir variables fisiológicas como la temperatura corporal, la melatonina o los niveles de cortisol, de forma continua o a intervalos regulares (cada hora), al menos por 24 horas. En este tipo de registro se mantienen constantes todas las condiciones que pueden ejercer una influencia

sobre los ritmos circadianos (enmascaramiento) (Duffy y Dijk, 2002). Por lo tanto, se mantienen constantes la temperatura ambiental, la intensidad de iluminación y el consumo de calorías, además se reduce el nivel de actividad motora y se mantiene a los participantes despiertos. Con el uso de una rutina constante se han observado variaciones circadianas en una tarea psicomotora (tiempo de reacción ante un estímulo visual) (Graw y cols., 2004), en la velocidad manual, la búsqueda serial, el razonamiento verbal, una tarea de memoria de trabajo (Monk y cols., 1998) y en una tarea de razonamiento lógico (Monk y Carrier, 1997). En los estudios en los que se ha usado una rutina constante, la ejecución en todas las tareas o actividades disminuye en la madrugada y aumenta en el día.

En el protocolo de desincronización forzada, se pide a las participantes que sincronicen su ciclo de vigilia-sueño a un ciclo de luz-obscuridad con un período que se encuentra fuera del rango de entrenamiento de los ritmos circadianos (por ejemplo de 28 horas). Esta

condición produce una desincronización entre el ciclo de vigilia-sueño y el ritmo circadiano en la temperatura corporal, ya que este último sigue oscilando con un período cercano a 24 horas. De esta forma, las mediciones a distintos momentos del día ocurrirán en diferentes fases del ritmo circadiano en la temperatura corporal (Czeisler y cols., 1999). En este tipo de estudios se han observado variaciones circadianas en tareas manuales, razonamiento verbal, tareas de búsqueda serial (Monk y Carrier, 1998), una tarea de símbolos y dígitos, así como una tarea de evocación (Wright y cols., 2002). Con este tipo de protocolo de investigación también se han encontrado variaciones circadianas en la actividad electroencefalográfica, la actividad cerebral en todas las zonas de la corteza cerebral también cambia a diferentes horas del día, (Aeschbach y cols., 1999). En los estudios con desincronización forzada se ha encontrado una correlación entre el ritmo circadiano en la temperatura corporal y las variaciones en la ejecución, los niveles de ejecución bajaron cuando la temperatura disminuyó (Cajochen y cols., 1999).

Como resumen de esta sección, podemos afirmar que se han encontrado variaciones circadianas en la ejecución de muchas tareas, sin embargo no se ha llevado a cabo un análisis sistemático de cuáles procesos cognoscitivos básicos pueden ser la base de estas oscilaciones. En el presente trabajo se analizan las variaciones circadianas en la atención, ya que muchas de las variables de comportamiento que presentan estos ciclos (por ejemplo: nivel de alerta, somnolencia, cansancio, tiempo de reacción) están vinculadas con algún aspecto de la atención.

Componentes de la atención

La atención es un proceso cognoscitivo básico que carece de una definición precisa o universal (Berlyne, 1969). La definición de la atención constituye en sí misma una aproximación teórica a este proceso (Fernández-Duque y Johnson, 1999). Broadbent (1962) plantea que la atención es un mecanismo que filtra información, de tal forma que deja pasar una información sensorial y limita la entrada de otras

entradas sensoriales. El experimento clásico con el que se demostró que la atención funcionaba como un filtro implica presentar dos mensajes de forma simultánea a cada oído. Generalmente la persona informaba con mayor precisión y facilidad el mensaje que se presentó a uno de los oídos y omitía lo que se presentaba en el otro oído. La "teoría del filtro" implicaba a la vez una capacidad limitada del mecanismo de filtrado de información (Tejero, 1999). Dentro de esta teoría se llevaron a cabo muchos experimentos que intentaban probar si el filtro ocurría antes de que se procesara la información sensorial, si ocurría después del análisis perceptual o antes de dar una respuesta (Swets, 1970). Posteriormente, se definió la atención como un mecanismo de foco, que implicaba una restricción en la información sensorial que se procesa, una dirección hacia una fuente de estimulación y una capacidad limitada (Kinchla, 1992). El experimento típico con el que se demostraba la presencia de un foco atencional implicaba presentar varios estímulos visuales de forma simultánea, la persona tenía que responder a un estímulo cuando aparecía una señal que

indicaba la posición en que ocurriría el estímulo. Sin embargo, la dirección de la señal de aviso podía ser congruente o incongruente con la posición en que aparecía el estímulo. Se observaba una menor latencia de respuesta cuando la señal de aviso era congruente con la posición del estímulo. Esto se interpretaba como una facilitación del foco atencional previo a la respuesta. Esta teoría implicaba también una capacidad limitada del foco atencional y derivó en una serie de experimentos que intentaban probar si el foco atencional ocurría en la etapa de procesamiento sensorial o en la etapa de respuesta.

Otros autores han planteado un mecanismo selector de eventos o respuestas, de tal forma que la atención no implica una limitación en la capacidad de procesar información, sino en la capacidad de seleccionar los estímulos relevantes en cada situación (Egeth y Yantis, 1997; Johnston y Dark, 1986). La demostración de este mecanismo de selección implicaba presentar dos tipos de estímulos y registrar cuales procesan más eficientemente las personas, además se registran las

diferencias que ocurren al establecer un evento o una respuesta meta (Roselló, 1999).

Las teorías mencionadas toman a la atención exclusivamente como un proceso cognoscitivo unitario, sin relación directa con los procesos cerebrales (Roselló, 1997; Munar, Roselló y Sánchez-Cabaco, 1999).

Otros autores toman en cuenta que la atención no es un proceso unitario, sino que se refiere a varios aspectos, por lo que se puede definir por medio de sus componentes (Swets, 1970). De esta manera, podemos definir la atención como el proceso cognoscitivo que implica la capacidad de responder al medio, de seleccionar una señal sensorial y una respuesta específica, así como la capacidad para sostener nuestra respuesta en el tiempo (Cohen, 1993).

En el presente trabajo es crucial vincular la atención con las respuestas fisiológicas que constituyen indicadores de los ritmos circadianos, por lo que se requiere un modelo neuropsicológico. Un modelo neuropsicológico de la atención toma este proceso como una función cerebral (Rains, 2002) y permite estudiar

cuáles sistemas cerebrales oscilan con un período circadiano, así como su relación con los demás indicadores fisiológicos de este tipo de ritmos. En el presente trabajo se utiliza el modelo neuropsicológico propuesto por Posner (Posner y Rafal, 1987), que plantea que la atención tiene cuatro componentes fundamentales: alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva y vigilancia (concentración). Aunque con algunas diferencias, el modelo de Posner es similar al que propone Cohen (1993). En este trabajo se usa este modelo ya que es un modelo neuropsicológico que analiza la atención como una función cerebral en la que participan dos sistemas cerebrales: el sistema reticular y el sistema prefrontal (Berger y Posner, 2000).

Alerta tónica se refiere a la capacidad para dar respuesta a los cambios en el ambiente, en diferentes momentos respondemos mejor y más rápido a los estímulos. Una reducción en el nivel de alerta tónica ocurre cuando una persona está somnolienta, está bajo los efectos de una droga depresora del sistema

nervioso. En estas condiciones la persona reduce sus respuestas espontáneas y tarda en dar respuesta a los estímulos. Es posible estudiar el nivel de alerta tónica por medio del tiempo de reacción ante estímulos que ingresan por distintos canales sensoriales. Alerta fásica es la capacidad para activarse cuando el medio lo requiere. Por lo tanto se refiere también a responder ante cambios en el ambiente precedidos por una señal de advertencia. Una forma de estudiar el nivel de alerta fásica es por medio de tareas como una prueba de ejecución continua. Atención selectiva implica la capacidad de procesar un evento sensorial e ignorar otros eventos presentes, se refiere también a la capacidad de dar una respuesta y abstenerse de dar otras respuestas (Driver, 2001). El tiempo de reacción de elección y la prueba de Stroop (Stroop, 1935; MacLeod, 1991; MacLeod y MacDonald, 2000) son ejemplos de tareas que pueden ser indicadores de atención selectiva. La vigilancia o concentración es la capacidad para sostener en el tiempo el alerta fásica y la atención selectiva. Nuestra capacidad para desempeñar una tarea puede deteriorarse a medida que

transcurre el tiempo, esto es una disminución en la vigilancia (fatiga). Una prueba de ejecución continua puede servir como indicador del nivel de vigilancia (Ricció y cols., 2002).

El autor de esta tesis propone un modelo para entender la participación de los diferentes componentes en la atención y la participación del sistema reticular y el sistema prefrontal. Este modelo se presenta en la Figura 1 e implica tres tipos de respuestas de la persona ante el ambiente: una reacción inmediata, una reacción automática y una reacción específica. Enseguida se describe el modelo:

1. Las reacciones inmediatas son respuestas ante cualquier estímulo novedoso o cambio en los parámetros del estímulo. Estas reacciones constituyen lo que se conoce como reflejo de orientación (Sokolov, 1960). La habituación consiste en una reducción en la magnitud de la respuesta cuando el estímulo se repite o se mantiene constante. La habituación es parte de la forma en que se manifiestan estas reacciones inmediatas. Ejemplos de reacciones inmediatas son las respuestas motoras

(sobresalto), cardíacas, respiratorias y electroencefalográficas (reflejo de orientación) que presentamos ante un ruido súbito. Si el ruido se repite dejamos de responder (habituaación). En este nivel se puede ubicar lo que Posner denomina alerta tónica. Este nivel se vincula fundamentalmente con la actividad del sistema reticular. Una lesión en el sistema reticular afecta el nivel de alerta tónica. Una lesión amplia en el sistema reticular produce un estado de coma, en el cual la persona no logra responder al ambiente. una lesión moderada produce estados confusionales, en los que la persona da respuestas generalizadas e inespecíficas, una lesión leve produce lentitud para responder, las respuestas pueden ser específicas, pero con una latencia mayor o no se producen (Luria, 1974).

2. Las reacciones específicas son respuestas dirigidas que implican un procesamiento, selección del estímulo, de la respuesta o de ambos. Ejemplos de reacciones específicas son todas las respuestas que damos a estímulos que aprendemos a discriminar o cuando aprendemos a generar respuestas nuevas, una de estas

situaciones es cuando aprendemos a conducir un automóvil. Lo que Posner denomina alerta fásica y la atención selectiva son respuestas específicas ante eventos específicos. Este nivel de respuesta se vincula con el sistema prefrontal. Las lesiones en este sistema producen alteraciones en la atención fásica y la atención selectiva. Una persona con una lesión severa en el área prefrontal no puede dar una respuesta específica a eventos específicos, sus respuestas pueden ser rápidas, incluso más rápidas que en personas sin lesión, se adelanta y pueden acertar o fallar, además perseveran, esto es, persisten en una misma respuesta aunque el evento ya haya cambiado y se requiera otro tipo de respuestas (Luria, 1986; Heillman y Valenstein, 1985).

3. Las reacciones automáticas son respuestas que originalmente fueron específicas, pero que se convirtieron en respuestas estereotipadas debido a la repetición o sobreaprendizaje. Un ejemplo de estas reacciones es conducir un automóvil, nadar o escribir a máquina cuando ya dominamos estas tareas. Cuando se

empieza a aprender una tarea, participa fundamentalmente el sistema prefrontal, pero cuando la tarea se lleva a cabo se forma automática participa fundamentalmente el sistema reticular.

Existen básicamente dos formas de modificar estas reacciones: por medio de cambios en el nivel de alerta o por medio de una activación que dirige la actividad. A este último mecanismo se le llama influencia hacia abajo (Pashler, Johnston y Ruthruff, 2001) y depende del establecimiento de metas que guían la actividad de la persona, esto modifica el nivel de vigilancia (concentración), así como la selección de estímulos y respuestas. Cuando una persona mantiene en el tiempo sus respuestas específicas, el sistema prefrontal participa activamente (Van der Linden, Frese y Meijman, 2003). Una lesión en el sistema prefrontal produce dificultades de concentración, el paciente no logra mantenerse respondiendo de forma específica y cualquier evento que ocurra a su alrededor lo lleva a producir respuestas dirigidas al nuevo estímulo, por lo que no

puede continuar eficientemente con la tarea central (Stuss y Levine, 2002).

El modelo de la atención que se presenta en este trabajo toma en cuenta los hallazgos de la neuropsicología: el nivel de alerta se vincula con la actividad del sistema reticular, mientras que el mecanismo de influencia hacia abajo por medio de metas se puede vincular con las funciones ejecutivas del sistema prefrontal (Pribram y McGuinness, 1975; Sarter, Givens y Bruno, 2001). En este campo es importante usar un modelo neuropsicológico, ya que esto nos permite analizar cuales sistemas cerebrales presentan variaciones circadianas.

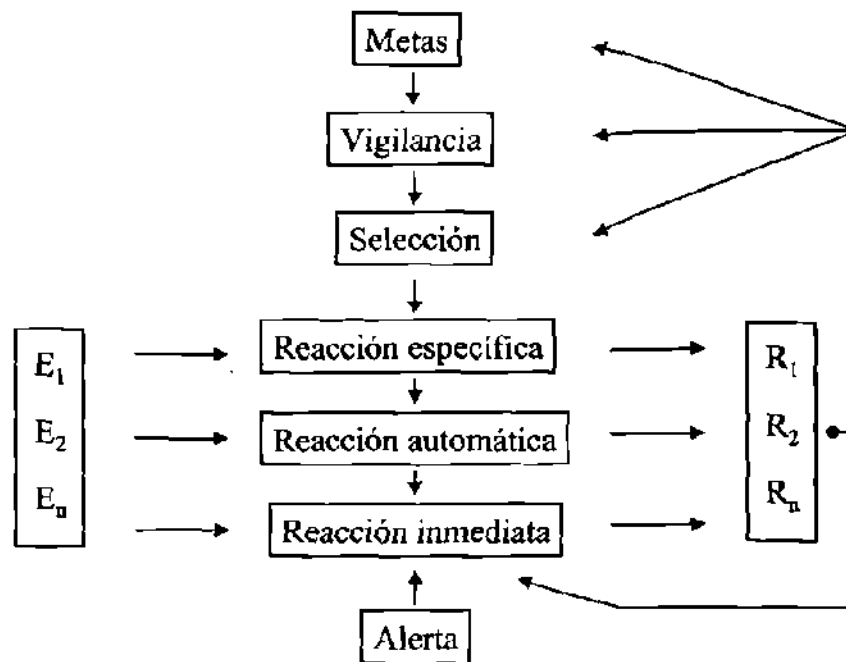


Figura 1. Modelo de la atención.

Cuando se analiza un proceso neuropsicológico (como la atención) es necesario mencionar que no se cuenta con medidas directas. Una estrategia metodológica fundamental consiste en registrar las respuestas de las personas en varias tareas que contienen el proceso que intentamos medir. De esta manera, podemos analizar el

proceso que nos interesa por medio de la ejecución en dos o más tareas que son indicadores del mismo.

En el presente trabajo se analizará la posible existencia de ritmos circadianos en procesos cognoscitivos partiendo de un modelo de la atención, para determinar los componentes específicos que presentan ritmos circadianos. Para ello se usará el método de registro en una rutina constante.

Capítulo 3. Método

Participantes

Se registraron 15 mujeres voluntarias, de 16-21 años de edad (promedio=18, desviación estándar=1.31 años), estudiantes universitarias, que asistían a clases de lunes a viernes con un horario de 07:00-13:30 h, sin actividades programadas durante las tardes y los fines de semana, sin trastornos graves de salud o trastornos del sueño, sin ingestión de medicamentos que afecten el sistema nervioso central.

Instrumentos

Se usó una cámara de aislamiento térmico, acústico y de la iluminación solar. En esta cámara se mantuvo la temperatura ambiental en 24 ± 1 °C. La iluminación máxima posible fue de 300 lux medida al nivel de los ojos de las participantes. Para la presentación de los

estímulos y el registro de la respuesta de las participantes, se usó una computadora y el programa SuperLab (Cedrus, 1999), los estímulos aparecieron en un monitor de 14" con una resolución de 800X600 pixeles. Se usó una prueba de ejecución continua y la prueba de Stroop. Se utilizó también un termómetro rectal marca Steriprobe 491B conectado a un Mini-Logger 2000 (Minimitter Co.), con una tasa de muestreo de un minuto. Este aparato registra y almacena la temperatura rectal cada minuto, la información almacenada se transmite posteriormente a la computadora. Se usaron también termómetros orales digitales marca Becton-Dickinson. Se usó una escala visual analógica para medir la somnolencia y el cansancio (Curcio, Casagrande y Bertini, 2001; Cluydts y cols., 2002). Esta escala consiste en una línea horizontal de 10 cm, que la participante cruzaba de acuerdo con el grado de somnolencia o cansancio que sentía en ese momento. El extremo izquierdo de la línea significa el mínimo y el extremo derecho significa el valor máximo de la sensación. Además, se usaron los siguientes cuestionarios:

1. Datos generales. Incluye preguntas acerca de edad, estado civil, ciclo menstrual, condiciones generales de salud-enfermedad, medicamentos prescritos recientemente, etc.

2. Cuestionario de trastornos del sueño. Diseñado para detectar dificultades con el dormir (Téllez, 1998).

3. Diario del dormir. Incluye preguntas acerca del ciclo de vigilia-sueño, tales como ¿A qué hora se acostó a dormir? ¿A qué hora se despertó? (Valdez, Ramírez y Téllez, 1998).

4. Una versión en español de la escala de madrugadores-trasnochadores (Horne y Ostberg, 1976; Valdez, Ramírez y Téllez, 1998; Mongrain y cols., 2004).

Validez y confiabilidad de los instrumentos

La validez de un instrumento se refiere a si el instrumento mide aquello que se pretende medir. Existen básicamente 3 tipos de validez: validez de constructo, de contenido y validez externa. La validez de

constructo se refiere a si el instrumento se deriva de forma consistente de una teoría; la validez de contenido evalúa si los reactivos dentro del instrumento son congruentes con la misma variable que se pretende medir, la validez externa implica la concordancia del instrumento con la medición de la misma variable, pero usando otro instrumento previamente validado, esto es, usando un criterio externo. La confiabilidad se refiere a la concordancia en los resultados cuando el instrumento se aplica en otro momento o en otra fecha (Hernández, Fernández y Baptista, 2003).

No se tienen datos acerca de la validez y confiabilidad de los cuestionarios de datos generales y trastornos del sueño que se usaron en este estudio. Se usan frecuentemente en ambientes clínicos y se consideran aceptables para obtener información general y para detectar la presencia de algunos síntomas.

Con respecto a la validez del diario del dormir, se puede mencionar que se usa frecuentemente en los estudios sobre el ciclo de vigilia-sueño, tiene una

correlación significativa con las etapas de sueño, evaluadas por medio de un registro polisomnográfico; así como con la estimación del ciclo de vigilia-sueño por medio de un registro actigráfico de la actividad motora (Lockley, Skene y Arendt, 1999). En cuanto a la confiabilidad, cuando se registra el ciclo de vigilia-sueño por medio del diario del dormir se observa una concordancia aceptable al comparar los mismos días de la semana (Valdez, Ramírez y García, 1996).

La escala de madrugadores y traspasadores ha demostrado un grado aceptable de validez externa, ya que permite discriminar dos subgrupos de la población que tienen fases diferentes en la fase del ritmo circadiano de temperatura corporal. Esto significa que la fase del ciclo en la temperatura corporal está adelantada en los madrugadores, mientras que los traspasadores tienen una fase retrasada. Se han obtenido valores semejantes cuando se aplica este cuestionario en fechas diferentes (Horne y Ostberg, 1976; Mongrain y cols., 2004).

Las pruebas cognoscitivas y neuropsicológicas que se usan en este trabajo han mostrado niveles apropiados de validez y confiabilidad, tanto el tiempo de reacción (Lachman, Lachman y Butterfield, 1979), la prueba de Stroop (Homack y Riccio, 2004), como la prueba de ejecución continua (Riccio y cols., 2002). Estas pruebas surgen en base a conceptos teóricos acerca del funcionamiento del cerebro y de las funciones cognoscitivas, por lo que tienen una aceptable validez de constructo, la validez de contenido también es apropiada ya que en todos ellos se genera un conjunto de reactivos equivalentes y se contrabalancean o se presentan en combinaciones aleatorias. La validez externa de este tipo de pruebas se refiere fundamentalmente a la capacidad de discriminar entre dos tipos de poblaciones: con daño y sin daño cerebral (Lezak, 1983; Hartlage, 2001). La validez también implica la relación de la prueba con un criterio externo, que este caso es la posibilidad de que la prueba prediga la ejecución de la persona en la vida cotidiana real, en este campo este tipo de validez externa se conoce como validez ecológica (Hart y

Hayden, 1986). Sin embargo, no se tiene información acerca de la validez o confiabilidad de las secciones "c" y "d" de la prueba de Stroop que se usa en este estudio, ya que estas son una modificación a la versión original de la prueba de Stroop.

Procedimiento

Inicialmente se pidió la participación voluntaria (firmaron una carta de aceptación) de mujeres universitarias que se encontraban dentro del rango de edad mencionado, así como de los padres o tutores. Se aplicaron los cuestionarios de datos generales y de trastornos del sueño. Solamente se admitieron en el estudio las personas que no tuvieran un problema de salud grave, que no estuvieran tomando medicamentos que afectan el sistema nervioso y que no tuvieran dificultades en el dormir. Las participantes que se admitieron contestaron la escala de madrugadores-trasnochadores; llevaron a cabo un registro diario de las características del ciclo de vigilia-sueño, durante un período de 11 días seguidos que inició en jueves, lo

cual permitió obtener el registro de 7 días entre semana y 4 días de fin de semana; además se registró su consumo de alimentos durante 2 días.

Uno o dos días antes de acudir para la sesión de registro, cada participante recibió instrucciones y entrenamiento en todas las actividades y tareas. Permanecieron al menos una hora en la cámara de aislamiento en condiciones idénticas a las del registro y se les aplicaron todas las mediciones y pruebas como se hizo durante la sesión de registro. Se pidió a las participantes que se abstuvieran de consumir alimentos en forma excesiva o con muchas calorías, hacer cualquier forma de dieta, consumir alcohol, café o cualquier tipo de droga durante 24 horas antes de la sesión de registro. Todas las participantes afirmaron que cumplieron con esta solicitud.

Para el registro en la cámara de aislamiento, las participantes acudieron las 12:00 h, se les aclararon dudas y se dieron ejercicios de práctica adicionales sobre las actividades y pruebas. El registro se inició a las 13:00 h. Cada participante permaneció en la

cámara de aislamiento durante 30 horas continuas en una rutina constante. Durante la sesión de registro no se permitió el consumo de café, tabaco, ni drogas. En esta cámara se registró de forma continua su temperatura rectal con una tasa de muestreo de un minuto. Las participantes permanecieron acostados en un sillón en la misma posición (con una inclinación de 45° sobre el eje horizontal, con la cabeza elevada con respecto a los pies), excepto por breves períodos cuando tenían que ir al baño. Además, las participantes permanecieron en vigilia (sin dormir). Cada hora se registró la temperatura oral por un período de 3 minutos, las variables subjetivas (somnolencia y cansancio), así como las diversas variables atencionales. Cada registro duraba aproximadamente de 40 minutos, seguido por un período de descanso de 20 minutos. El período de descanso se utilizó para comer una porción de alimento equivalente a la fracción correspondiente a dividir el total de calorías de ingesta diaria entre 24. Con el propósito de evitar posibles variaciones en el comportamiento vinculadas con el ciclo menstrual, cada participante se registró en el intervalo que va del día

5 después de la menstruación al día 5 antes de la fecha en que se espera la siguiente menstruación.

Enseguida se describen las pruebas que se aplicaron (Figura 2):

1. Tiempo de reacción.

a) Auditivo con un estímulo. El estímulo fue un sonido de 2000 c/s con una duración de 100 milisegundos. El intervalo entre estímulos fue variable con un rango de 2000-2270 milisegundos. Se usaron 10 estímulos.

b) Auditivo de elección, con dos estímulos. Los estímulos fueron sonidos de 3500 y 500 c/s, ambos con una duración de 100 milisegundos. Cada participante tuvo que responder ante el estímulo de 3500 milisegundos y abstenerse de responder ante el otro estímulo. El intervalo entre estímulos fue variable con un rango de 2000-2690 milisegundos. Se usaron 20 estímulos.

c) Visual con un estímulo. El estímulo será la letra "A" (Font=Arial, Tamaño=28) colocada en el centro de la pantalla, con una duración de 100 milisegundos. El intervalo entre estímulos fue variable con un rango de 2030-2300 milisegundos. Se usaron 10 estímulos.

d) Visual de elección, con dos estímulos. Los estímulos fueron: "X X", "O O", "X O" y "O X" (Font=Arial, Tamaño=28), cada estímulo tuvo una duración de 100 milisegundos. Cada participante tuvo que responder cuando ambas letras fueran iguales "X X" y "O O", pero tuvo que abstenerse de responder cuando las letras fueran diferentes "X O" y "O X". El intervalo entre estímulos fue variable con un rango de 1080-3200 milisegundos. Se usaron 20 estímulos.

2. Prueba de Stroop. Consistió en una lámina (tamaño carta) con 48 palabras (Font=Arial, Tamaño=28) que denominan 4 colores (azul, café, rojo, verde), pero cada palabra está escrita con un color diferente al nombre. Cada participante tenía que decir en voz alta y lo más rápido posible lo que se le pide en cada una de las siguientes condiciones:

- a) Leer las palabras sin importar en que color estén escritas.
- b) Decir el color en el que está escrita cada palabra.
- c) Decir las palabras ante los estímulos marcados con un punto a la izquierda de cada estímulo. Ante los estímulos sin marca se debe decir el color con el que está escrita la palabra.
- d) En esta condición cada participante debía invertir el criterio, pero ahora tenía que nombrar el color de cada palabra marcada con un punto a la izquierda y leer la palabra cuando no estaba el punto.

3. Prueba de ejecución continua (Riccio y cols., 2002). La computadora presentó una serie de números al azar, la participante tenía que presionar el número "1" cuando apareciera cualquier número, pero si aparecía un "9" debería presionar el número "2", si después del "9" aparecía un "4" debería presionar el número "3", si aparecía un número diferente de "4" después del "9" debería presionar el número "1". Esta prueba consta de

27 bloques de 20 estímulos cada uno (14 números no relacionados con el número "9", 4 números "9" y 2 números "4" después de "9"), la duración de cada estímulo es de 100 milisegundos, el intervalo entre estímulos varía alrededor de 1200 milisegundos (1000, 1100, 1200, 1300 y 1400). Los estímulos dentro de cada bloque se presentaron de forma aleatoria. Los estímulos fueron números con un tipo de letra Arial, tamaño 60, que se presentaron en un monitor de computadora de 14" colocado a 60 cm de distancia enfrente de la participante. En total fueron 540 estímulos con una duración total de esta prueba de 11 minutos y 42 segundos.

De acuerdo con la definición del modelo de Posner y Rafal (1987), la ejecución en las pruebas mencionadas proporcionaron los siguientes indicadores de los componentes atencionales:

1. Alerta tónica. Tiempo de reacción ante un estímulo (auditivo o visual). Respuestas correctas y tiempo de reacción ante cualquier número (sin relación con el "9" o el "4" en la prueba de ejecución continua. Tiempo

para llevar a cabo la prueba de Stroop en la sección en que se requiere la lectura de las palabras.

2. Alerta fásica. Respuestas correctas y tiempo de reacción ante un estímulo ("4") después de una señal de aviso ("9") en la prueba de ejecución continua.

3. Atención selectiva. Tiempo de reacción de elección con dos estímulos (auditivos o visuales). Respuestas correctas y tiempo de reacción ante una señal de aviso ("9") en la prueba de ejecución continua. Tiempo para llevar a cabo la prueba de Stroop en las secciones en que se requiere decir el color o en las secciones con cambio de criterio.

4. Vigilancia (concentración). Cambios en el nivel de ejecución durante la prueba de ejecución continua.

Los indicadores más importantes de los componentes atencionales, definidos de acuerdo con el modelo de Posner, se pueden obtener de forma más específica con la prueba de ejecución continua y la prueba de Stroop. Por esta razón se usaron pocos estímulos en la prueba de tiempo de reacción. En este estudio el tiempo de

reacción se usa más como una variable general de ejecución.

Análisis de datos

Para el análisis de los datos se usaron las técnicas de series de tiempo, curva de mínimos cuadrados y cosinor. El cosinor es especialmente útil para determinar la amplitud y fase del ritmo circadiano (Minors y Waterhouse, 1988; Benedito-Silva, 2003), esta técnica se aplicó a los datos de la temperatura rectal por cada participante. Para separar los posibles efectos de la fatiga durante la sesión de registro de las variaciones circadianas, se utilizó la técnica de eliminación de la tendencia lineal, la cual consiste en restar la regresión lineal a los datos de cada variable atencional por cada hora de registro, este análisis se llevó a cabo en los datos de cada participante. Además, los datos de cada variable atencional se convirtieron a unidades estándar ("z") para eliminar las diferencias individuales en el nivel absoluto de ejecución. Para determinar la existencia de variaciones en la ejecución

durante el registro se usó el análisis de varianza no paramétrico de Friedman. Algunos datos se transformaron a un índice de detectabilidad (d') de acuerdo con la teoría de detección de señales (Gescheider, 1997). Para las comparaciones del ciclo de vigilia-sueño entre semana comparado con los fines de semana se usó la prueba no paramétrica T de Wilcoxon. El análisis de los datos se llevó a cabo por medio del programa Statistica (Statsoft, 1994).

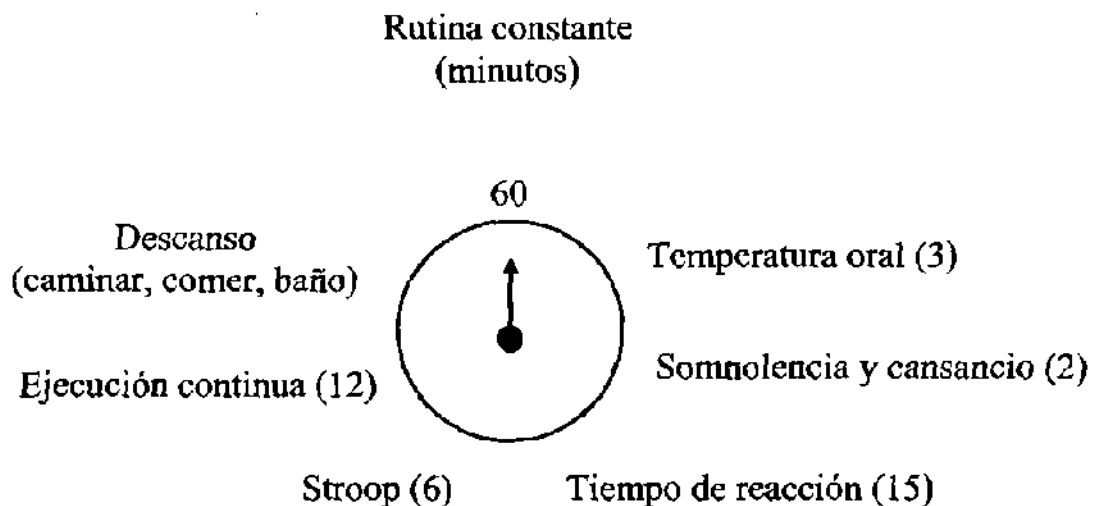


Figura 2. Rutina constante. El número entre paréntesis indica la duración aproximada en minutos del registro para cada variable.

Diseño de investigación

El presente trabajo puede describirse como un estudio exploratorio, correlacional, con un diseño longitudinal (mediciones en diferentes momentos del día), incluye un control de las variables extrañas (agentes que producen enmascaramiento de los ritmos circadianos), se lleva a cabo con una muestra de participantes voluntarias, con un análisis de series de tiempo y el uso de estadística no paramétrica.

Capítulo 4. Resultados

Las edades, días de menstruación, la calificación en la escala de autoevaluación de la fase circadiana (Horne y Ostberg, 1976) y los días de registro de todas las participantes se presentan en la Tabla 1. De acuerdo con la autoevaluación de la fase circadiana, todas las participantes tuvieron una calificación que se puede clasificar como cronotipo intermedio (sin tendencia madrugadora o trasnochadora). Debido a que la temperatura rectal es un índice fundamental del oscilador X del ritmo circadiano, se describen primero los resultados de esta variable. De las 15 participantes que se registraron (Figuras 3 y 4), en una participante no se obtuvo el registro debido a un error en la conexión del Mini-Logger, 3 registros tenían ruido por lo que no fue posible analizar sus datos y uno de los registros no presentó oscilaciones circadianas significativas al aplicar la técnica de análisis cosinor. De las 10 participantes con un registro completo de la temperatura corporal y con

variaciones circadianas significativas de acuerdo con la técnica de análisis cosinor, 8 participantes tuvieron una acrofase similar (rango=14:02-16:49 hora del día), mientras que una participante tuvo una acrofase adelantada (9:36 hora del día) y la otra participante tuvo una acrofase retrasada (20:06 hora del día) (Tabla 2). Se aplicó la técnica cosinor a los datos de la temperatura oral por hora, sin embargo las acrofases que se obtuvieron de esta forma no concuerdan con las acrofases que se obtienen por medio de la temperatura rectal. El valor mínimo de la temperatura oral (+12 horas) es una estimación gruesa de la acrofase, sin embargo estos valores se aproximan, pero no concuerdan con la acrofase que se obtiene por medio de la temperatura rectal (Figura 5). Como se mencionó antes, la temperatura rectal es la medida más precisa de la temperatura corporal y es un índice básico de la fase del oscilador circadiano X , por lo que en este trabajo se usarán los datos de la temperatura rectal y no se tomarán en cuenta los datos de la temperatura oral. Por la misma razón, en este trabajo el análisis se basará en las 8 participantes con registro completo

de la temperatura rectal y con acrofases significativas similares de acuerdo con los resultados del análisis cosinor.

Tabla 1. Datos generales de las participantes del estudio

Participante	Edad	Autoevaluación de la fase circadiana	Menstruación	Día del registro
1	19	41	26-Jul-03	Martes 2-sept-03
2	18	49	13-Ago-03	Martes 2-sept-03
3	17	53	20-Jul-03	Sábado 6-sept-03
4	17	53	15-Ago-03	Martes 9-sept-03
5	16	53	13-Sep-03	Martes 21-oct-03
6	17	57	13-Ago-03	Jueves 23-oct-03
7	18	51	08-Ago-03	Sábado 25-oct-03
8	18	53	15-Sep-03	Sábado 25-oct-03
9	17	34	01-Sep-03	Sábado 6-sept-03
10	20	58	07-Sep-03	Jueves 16-oct-03
11	17	52	07-Ago-03	Sábado 13-sept-03
12	19	61	22-Ago-03	Jueves 11-sept-03
13	21	61	28-Ago-03	Martes 9-sept-03
14	18	54	01-Sep-03	Martes 14- oct -03
15	18	42	07-Sep-03	Martes 21-oct-03
promedios	18	1.31		
rango	16-21			

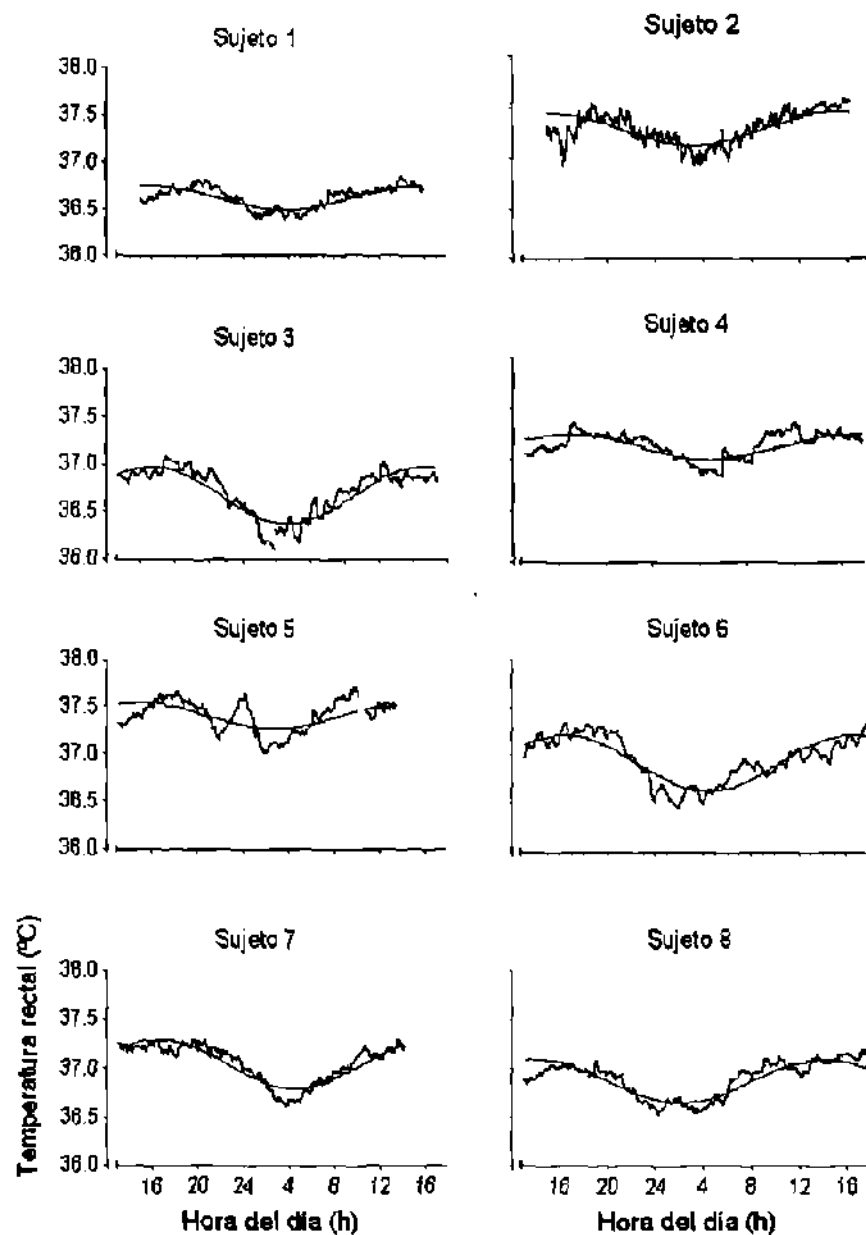


Figura 3. Temperatura rectal de las 8 participantes con variaciones circadianas significativas de acuerdo con el análisis Cosinor. La curva sobreimpuesta al registro es la onda sinusoidal con un período de 24 horas que se ajusta mejor a los datos de acuerdo con el análisis Cosinor.

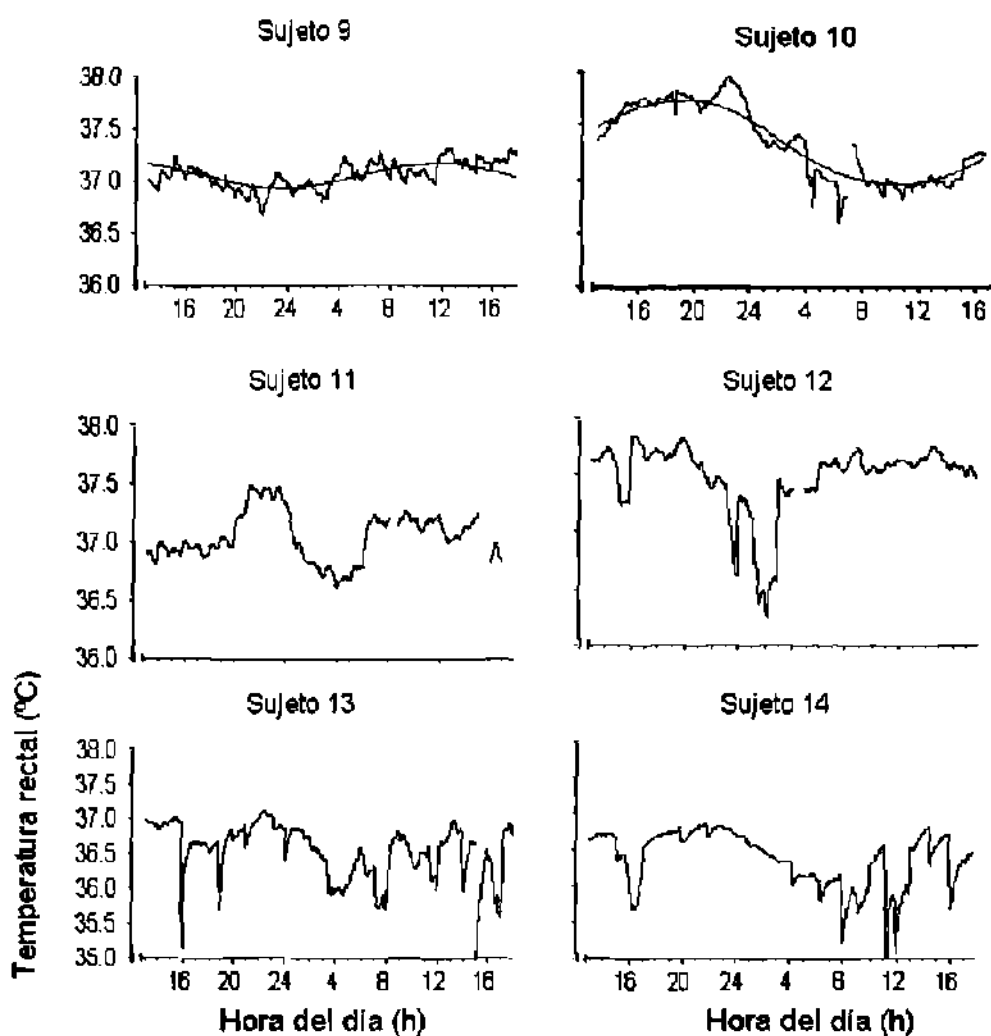


Figura 4. Temperatura rectal de las 6 participantes que no se incluyeron en el análisis de las variables atencionales. Las participantes 9 y 10 tienen fases significativas, pero diferentes. En la participante 11 no se observaron variaciones circadianas significativas de acuerdo con el análisis Cosinor. Las participantes 12, 13 y 14 tienen ruido en el registro.

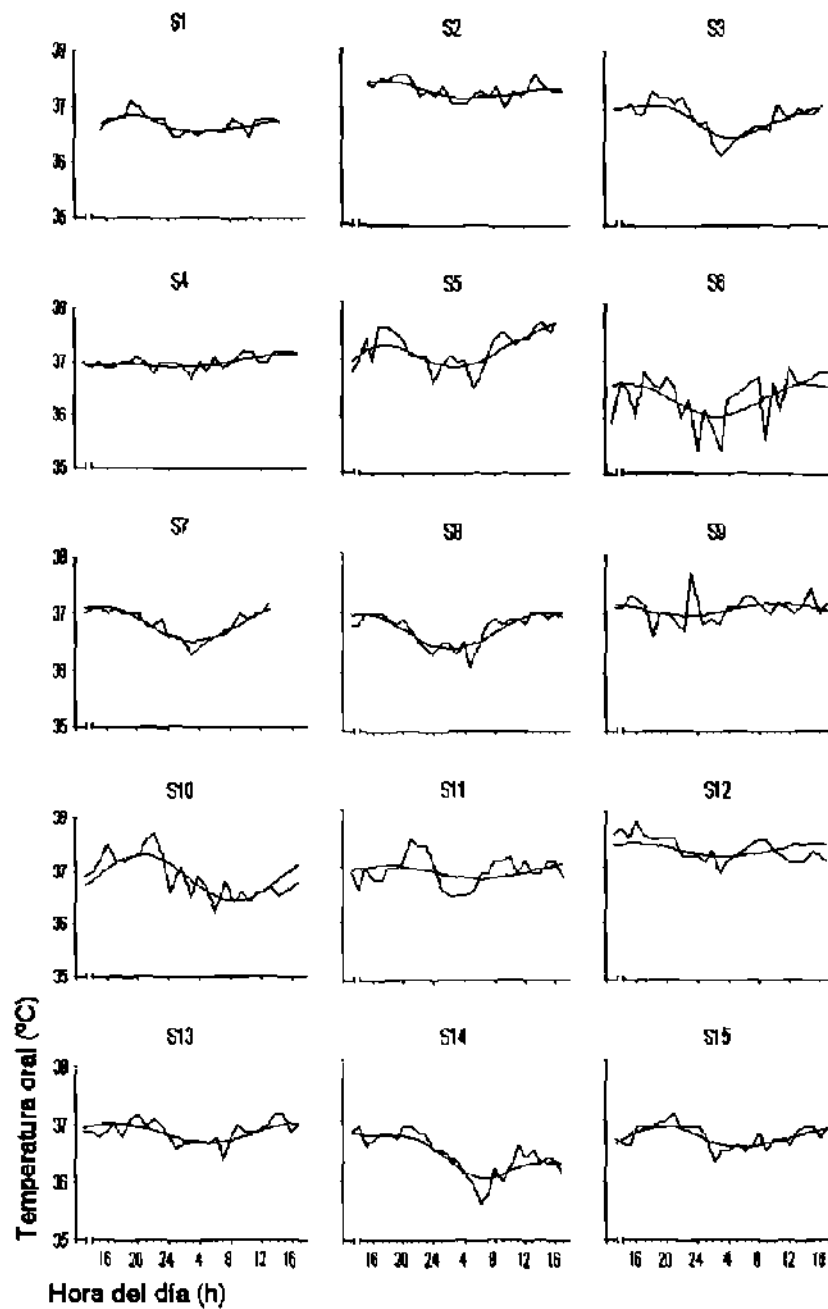


Figura 5. Temperatura oral de las 15 participantes del estudio. La curva sobreimpuesta es la que mejor se ajusta a los datos de acuerdo con la técnica de mínimos cuadrados.

Tabla 2. Acrofase de la temperatura rectal obtenida por medio del análisis Cosinor.

Participante	Temperatura Rectal			% R	p	Temperatura Oral
	Mesor °C	Amplitud °C	Acrofase Hora del día (h:min)			Valor mínimo Hora del día (h:min)
1	36.63	0.13	15:44	62.49	<0.001	03:45
2	37.28	0.16	15:05	55.19	<0.001	04:13
3	36.67	0.31	15:56	80.85	<0.001	04:16
4	37.13	0.12	16:49	51.23	<0.001	02:36
5	37.41	0.14	14:45	36.93	<0.001	03:09
6	36.93	0.29	16:25	78.60	<0.001	01:30
7	37.05	0.25	16:30	83.69	<0.001	03:27
8	36.88	0.22	14:02	77.67	<0.001	02:18
9	37.05	0.12	11:30	39.31	<0.001	20:06
10	37.33	0.43	20:51	68.95	<0.001	09:36
11						03:51
12						02:24
13						04:33
14						06:50
15						04:60
Promedio (N=8)	37.00	0.20	15:40	65.83		03:09
s	0.28	0.08	0:58	16.99		0:58

% R= Porcentaje de varianza explicado por el ritmo.

El indicador básico del oscilador circadiano γ es el ciclo de vigilia-sueño, en la Tabla 3 se presentan los resultados de esta variable. Se observaron diferencias significativas en el ciclo de vigilia-sueño entre

semana comparado con el fin de semana. Entre semana las 15 participantes se acostaban entre las 22:13 y las 24:41 hora del día y se levantaban entre las 04:28 y las 07:30 hora del día, por lo que dormían entre 5:27 y 8:37 horas. En cambio, el fin de semana se acostaban entre las 23:12 y las 26:22 hora del día y se levantaban entre las 08:17 y las 10:04 hora del día, por lo que dormían entre 08:02 y 09:19 horas. En resumen, el fin de semana las personas se acostaban y se levantaban más tarde, además dormían más.

La Figura 6 muestra la relación entre el ciclo de vigilia-sueño entre semana y los fines de semana con el ciclo en la temperatura rectal y las variaciones en la somnolencia. Entre semana las participantes se acostaban en un momento en que su temperatura corporal apenas empezaba a descender y el nivel de somnolencia aún estaba bajo, se despertaban cuando la temperatura corporal estaba baja y la somnolencia aún estaba alta. El fin de semana las voluntarias empezaban a dormir cuando la temperatura corporal ya estaba en un nivel más bajo y cuando la somnolencia empezaba a aumentar,

se levantaban cuando la temperatura corporal ya estaba alta y la somnolencia estaba descendiendo.

La temperatura corporal presentó oscilaciones circadianas, mientras que la somnolencia y el cansancio mostraron un aumento progresivo conforme transcurrió la sesión de 30 horas en condiciones constantes. Sin embargo, cuando se eliminó esta tendencia lineal de estas dos variables subjetivas, solamente la somnolencia tuvo variaciones significativas durante la sesión (Friedman=35.36, $gl=22$, $p<0.05$), con un aumento en la somnolencia cerca del aumento en la temperatura rectal (Figura 7).

Tabla 3. Ciclo de vigilia-sueño.

Participante	Hora de dormir			Hora de despertar			Duración del dormir		
	ES	FS	T	ES	FS	T	ES	FS	T
1	24:41	25:45		06:16	10:04		5:45	8:19	
2	23:57	24:56		05:59	08:39		6:03	8:04	
3	23:19	23:51		04:48	08:53		5:27	9:01	
4	22:13	23:12		04:28	09:24		6:16	10:12	
5	23:35	24:58		05:23	09:00		5:48	8:02	
6	23:03	24:05		05:12	08:40		6:15	8:35	
7	23:23	24:41		05:56	11:45		6:40	11:04	
8	22:45	23:54		05:54	08:17		7:11	8:23	
9	23:45	23:45		05:15	08:53		5:30	9:08	
10	22:44	23:19		05:57	08:38		7:13	9:19	
11	22:27	23:30		05:04	08:35		6:38	9:05	
12	22:37	24:23		04:55	08:40		6:18	8:17	
13	23:00	24:00		05:00	10:05		6:00	10:05	
14	23:11	24:45		06:01	08:59		6:49	8:14	
15	22:53	26:22		07:30	10:46		8:37	8:24	
Promedio (N=15)	23:10	24:22	0**	05:34	09:17	0**	6:26	8:57	1**
s	0:38	0:54		0:45	0:58		0:49	0:54	
Promedio (N=8)	23:22	24:25	0*	05:29	09:20	0*	6:11	8:57	0*
s	0:45	0:49		0:38	1:07		0:33	1:06	

* p<0.02, ** p<0.001

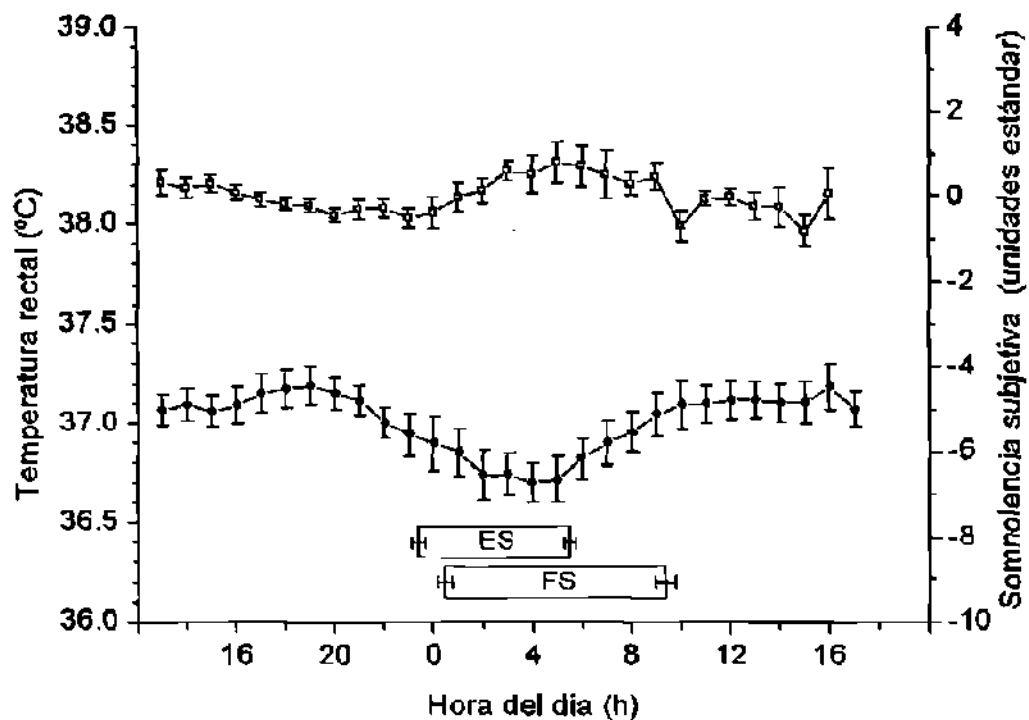


Figura 6. Temperatura rectal, somnolencia y ciclo de vigilia-sueño, tanto entre semana como en el fin de semana. La curva de somnolencia son los valores residuales en unidades estándar, después de eliminar la tendencia lineal. ES=entre semana, FS=fin de semana.

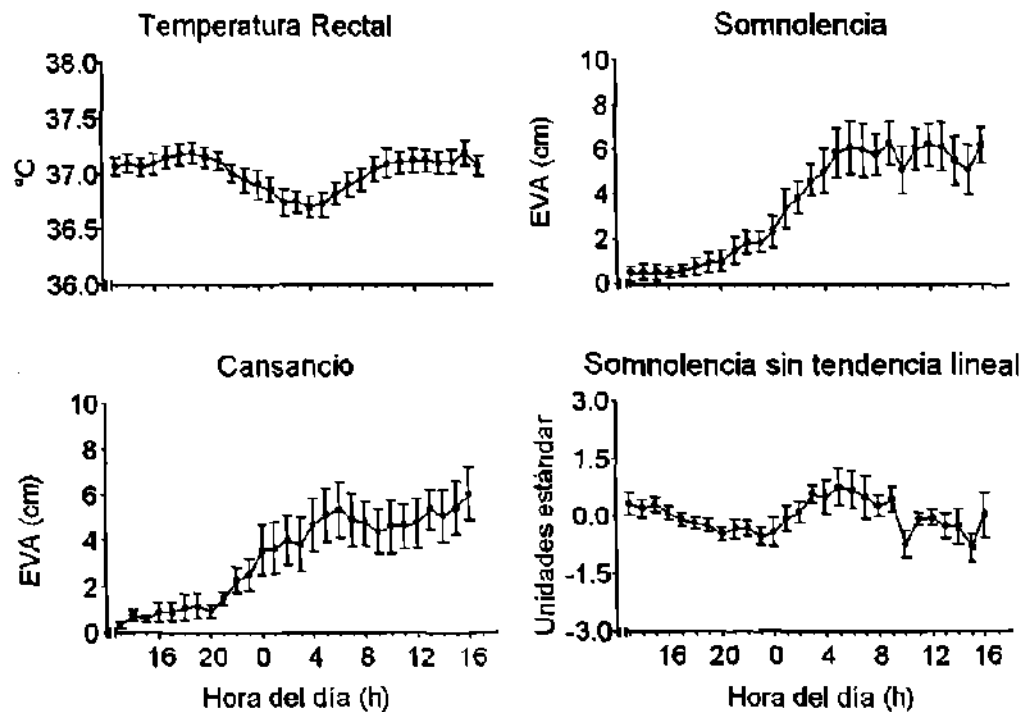


Figura 7. Temperatura rectal, somnolencia y cansancio.

Los resultados acerca de los componentes de la atención se describirán enseguida de acuerdo con cada una de las variables atencionales que se registraron: tiempo de reacción, prueba de ejecución continua y Stroop. En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis de varianza de todas las variables del estudio,

temperatura rectal, variables subjetivas y atencionales. Todas las variables subjetivas y atencionales mostraron una disminución en la ejecución a medida que transcurrió la sesión de 30 horas. Esta disminución se manifestó como una reducción en la eficacia (menor frecuencia de respuestas correctas) así como un aumento en la velocidad para responder (aumento en el tiempo de reacción). Solamente las variables que resultaron estadísticamente significativas con respecto a la hora del día, después de eliminar la tendencia lineal, se presentan en forma de gráficas, en las figuras 8-12.

Tiempo de reacción

En el tiempo de reacción no se observaron variaciones con la hora del día, en ninguna de las formas en que se midió, ni ante un estímulo auditivo o visual, ni ante el tiempo de reacción con dos estímulos (visuales o auditivos). Esto puede deberse a la limitada cantidad de estímulos que se presentaron en esta tarea. Sin embargo, se observaron variaciones durante el día en la

frecuencia de errores de todas las tareas de tiempo de reacción (Friedman=34.25, $gl=22$, $p<0.05$), los errores aumentaron cerca del momento en que disminuyó la temperatura rectal, pero estas diferencias son pequeñas y con una gran variabilidad (Figura 8).

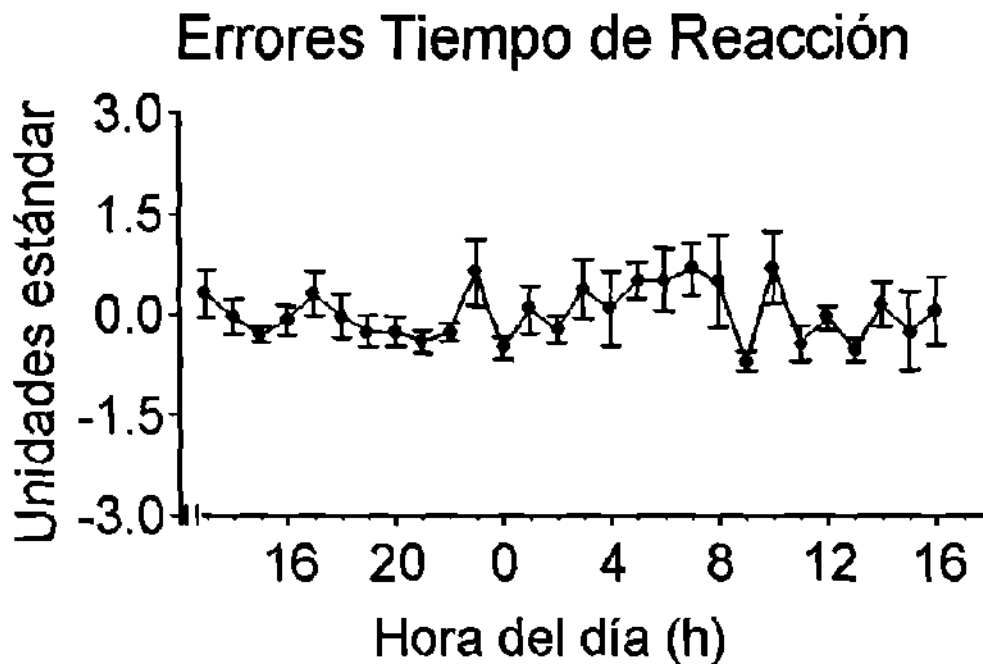


Figura 8. Frecuencia de errores en todas las tareas de tiempo de reacción.

Tabla 4. Cambios durante la sesión en la temperatura rectal, las variables subjetivas y atencionales. Se usó el análisis de varianzas no paramétrico de Friedman.

Variable		gl	Friedman				
Temperatura rectal	Datos brutos	23	137.3	***			
Sonnolencia	Datos brutos	22	138.12	***			
	Sin tendencia lineal z	22	35.36	*			
Cansancio	Datos brutos	22	97.34	***			
	Sin tendencia lineal z	22	26.94				
Tiempo de Reacción	Datos brutos	Auditivo 1 estímulo	21	23.12			
		Visual 1 estímulo	21	32.39			
		Auditivo 2 estímulos	21	19.98			
		Visual 2 estímulos	21	18.30			
		Total	22	34.75	*		
Prueba de ejecución continua	Errores	Sin tendencia lineal z	Total	21	47.44	***	
		Correctas	Sin tendencia lineal z	Alerta tónica	21	64.48	***
	Datos brutos	R	Total	Atención selectiva	21	37.46	*
			Alerta tónica	Alerta física	21	46.84	***
			Total	22	60.15	***	
			Alerta tónica	22	62.73	***	
	Pendiente	Atención selectiva	Alerta física	14	23.90	*	
			Alerta física	14	30.05	**	
	Sin tendencia lineal z	R	Total	Total	21	25.79	
			Alerta tónica	Alerta tónica	21	24.56	
			Atención selectiva	Alerta física	14	20.18	
			Alerta física	Alerta física	14	16.28	
Tiempo de reacción	Sin tendencia lineal z	R	Total	22	63.49	***	
			Alerta tónica	Alerta tónica	22	51.35	***
			Atención selectiva	Atención selectiva	22	43.94	**
			Alerta física	Alerta física	22	45.18	**
	Datos brutos	R	Total	Total	22	20.60	
			Alerta tónica	Alerta tónica	22	25.72	
			Atención selectiva	Atención selectiva	14	9.79	
			Alerta física	Alerta física	14	15.43	
	Sin tendencia lineal z	R	Total	Total	22	18.26	
			Tónica	Tónica	22	21.44	
			Atención selectiva	Alerta física	14	8.53	
			Alerta física	Alerta física	14	12.46	
d'	Datos brutos	R	Atención selectiva	22	110.74	***	
			Alerta física	22	122.92	***	
			Atención selectiva	22	40.48	**	
			Alerta física	22	58.85	***	
Stroop	Tiempo de ejecución	Sin tendencia lineal z	Palabra	22	47.59	**	
			Color	22	50.89	***	
			Punto palabra	22	30.57		
			Punto color	22	23.18		
			Dif. C-P	22	35.64	*	
			Dif. PC-PF	22	19.85		
			Total PP+PC	22	36.60	*	
	Correctas	Sin tendencia lineal z	R	Palabra	22	19.91	
				Color	22	22.65	
				Punto palabra	22	30.56	
				Punto color	22	23.18	
				Total	22	23.90	

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001, z= unidades estándar, R= regresión lineal. Pendiente=segunda mitad-primerá mitad de la prueba de concentración, P=palabra, C=color, PF=punto palabra, PC=punto color

Prueba de ejecución continua

El total de respuestas correctas y el tiempo de reacción para todas las respuestas correctas mostraron el deterioro general en la ejecución que se mencionó antes. Sin embargo, al eliminar la tendencia lineal se observaron variaciones durante las 24 horas, con una disminución en la eficiencia (Friedman=47.44, $gl=21$, $p<0.001$) y un aumento en el tiempo de reacción (Friedman=63.49, $gl=22$, $p<0.001$) cerca del momento en que disminuyó la temperatura rectal (Figura 9).

Cuando se analizó la ejecución en esta prueba por distintos aspectos de la tarea, se encontraron variaciones durante el día, al eliminar la tendencia lineal, en las siguientes respuestas:

1. En la eficiencia para responder (Friedman=64.48, $gl=21$, $p<0.001$) y en el tiempo de reacción (Friedman=51.35, $gl=22$, $p<0.001$) ante los números que no tienen relación con el "9" y el "4". De acuerdo con el modelo de Posner, estas respuestas se pueden considerar indicadores de alerta tónica.

2. En la eficiencia para responder (Friedman=37.46, $gl=21$, $p<0.05$) y en el tiempo de reacción (Friedman=43.49, $gl=22$, $p<0.01$) ante el "9". Esta es una respuesta específica, por lo que se le puede considerar un indicador de atención selectiva.

3. En la eficiencia para responder (Friedman=46.84, $gl=21$, $p<0.001$) y en el tiempo de reacción (Friedman=45.18, $gl=22$, $p<0.01$) ante el "4" después del "9". Esta es una respuesta ante un estímulo que ocurre después de una señal de advertencia, por lo que es un indicador de alerta fásica.

Todas estas respuestas mostraron una reducción en la eficiencia y un mayor tiempo de reacción cerca del momento del día en el que disminuyó la temperatura rectal (Figura 10).

Los índices de detectabilidad (d') para los indicadores de atención selectiva y alerta fásica, medidos por medio de la prueba de ejecución continua, se redujeron cerca del momento en que disminuyó la temperatura

corporal. Esto implica una menor eficiencia para detectar eventos específicos a esa hora del día.

Los cambios en el nivel de ejecución durante la prueba se midieron a través de la regresión lineal (R) de la ejecución durante la prueba. Un valor positivo indica que la ejecución fue aumentando durante el tiempo en que se aplicó la prueba, esto es, esto implica una mejoría hacia el final de la prueba. Un valor negativo indica que la ejecución fue disminuyendo hacia el final de la prueba. El valor de la regresión lineal se pudo obtener para toda la prueba y para las respuestas ante cualquier número no relacionado con "9" y "4" (alerta tónica); para las otras condiciones no fue posible obtener este valor debido a que la cantidad de respuestas era menor. Por esta razón, para las respuestas ante el "9" (atención selectiva) y ante el "4" después del "9" (alerta fásica) se calculó la diferencia entre la segunda y la primera parte de la prueba (pendiente). Un valor positivo indica un aumento en la ejecución hacia el final de la prueba, un valor negativo indica una disminución en la ejecución hacia

el final de la prueba. Valores positivos en la regresión lineal o en la pendiente pueden indicar un efecto de aprendizaje durante la prueba, pero valores negativos pueden indicar una disminución en la vigilancia (concentración). Se observó una disminución progresiva en la concentración durante la sesión de 30 horas, tanto para el total de respuestas, como para los indicadores de alerta tónica, atención selectiva y alerta fásica. Ninguno de estos indicadores mostró variaciones con la hora del día al eliminar la tendencia lineal (Figura 12).

Prueba de Stroop

Al eliminar la tendencia lineal en la prueba de Stroop se encontró una disminución en la eficiencia en las siguientes condiciones: las participantes tardaron más tiempo para leer los nombres de los colores (alerta tónica) (Friedman=47.59, $gl=22$, $p<0.01$), para decir el color (Friedman=50.89, $gl=22$, $p<0.001$) y en las secciones en que tenían que cambiar de criterio

(atención selectiva) (Friedman=36.6, gl=22, $p<0.05$)
(Figura 13).

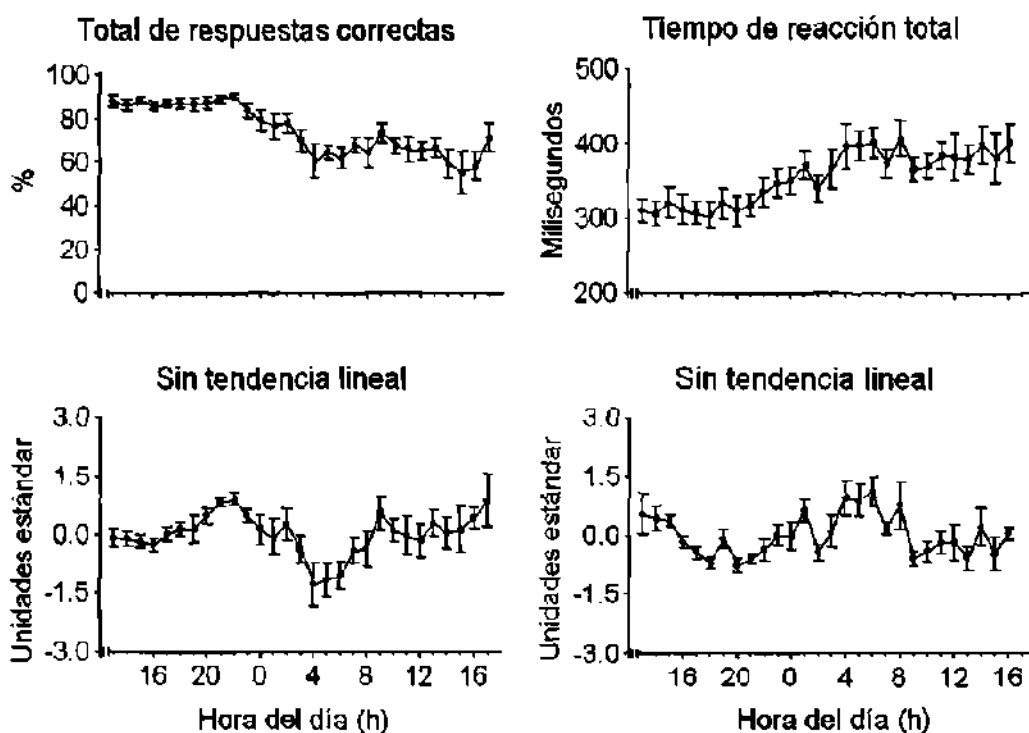


Figura 9. Total de respuestas correctas y tiempo de reacción para esas mismas respuestas en la prueba de ejecución continua. Las gráficas que se encuentran en la parte inferior muestran los mismos datos, pero después de eliminar la tendencia lineal.

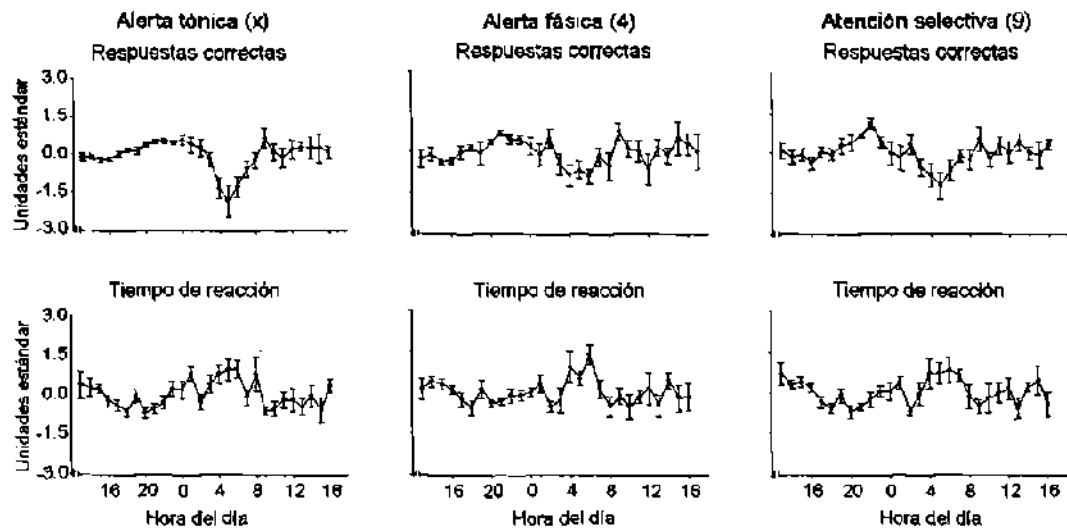


Figura 10. Respuestas correctas y tiempo de reacción en la prueba de ejecución continua, por indicador de cada componente atencional.

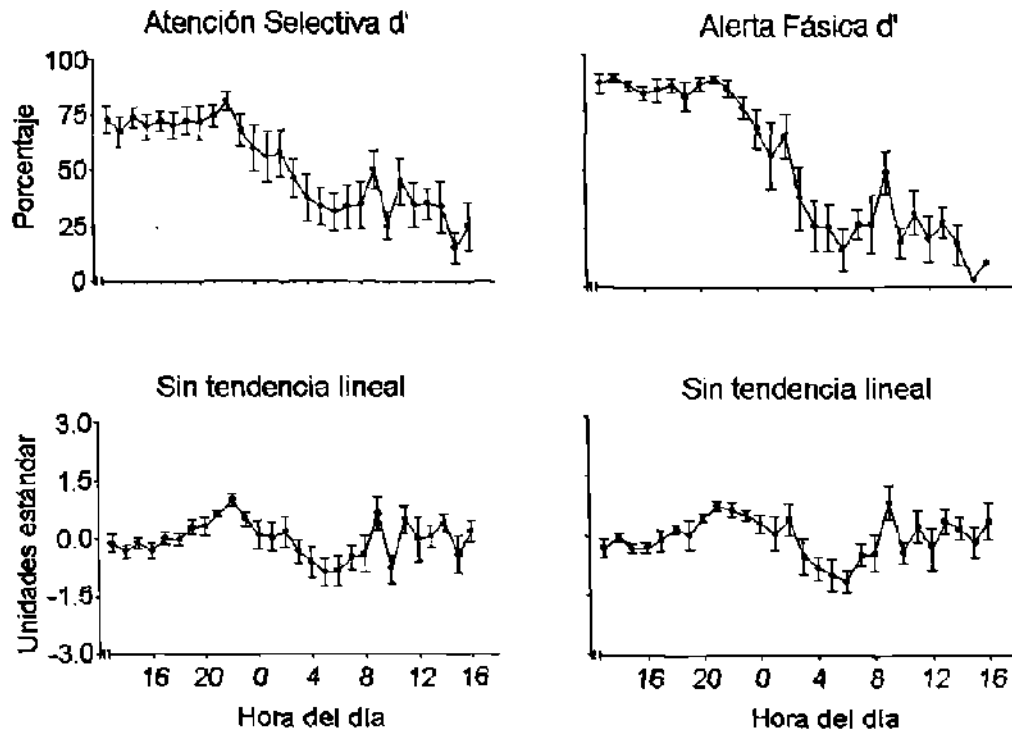


Figura 11. Índice de detectabilidad (d') para atención selectiva y alerta fásica.

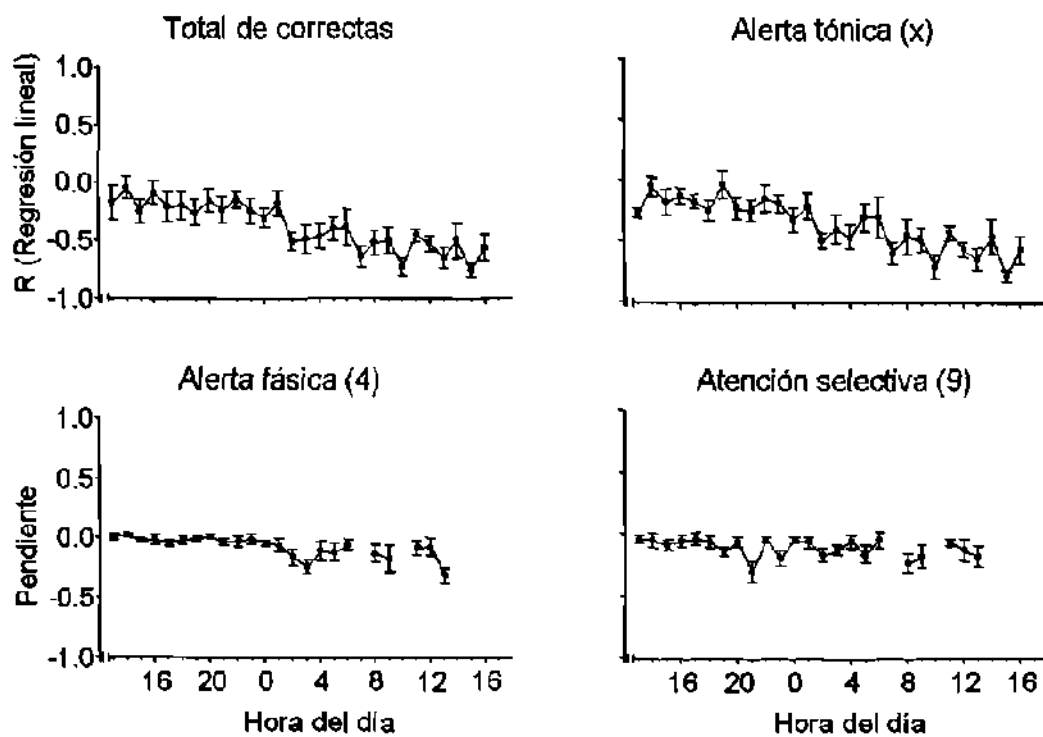


Figura 12. Indicador de vigilancia (concentración) durante la prueba de ejecución continua. Se presentan los cambios en la concentración para cada la ejecución total en la prueba, así como para los otros componentes atencionales.

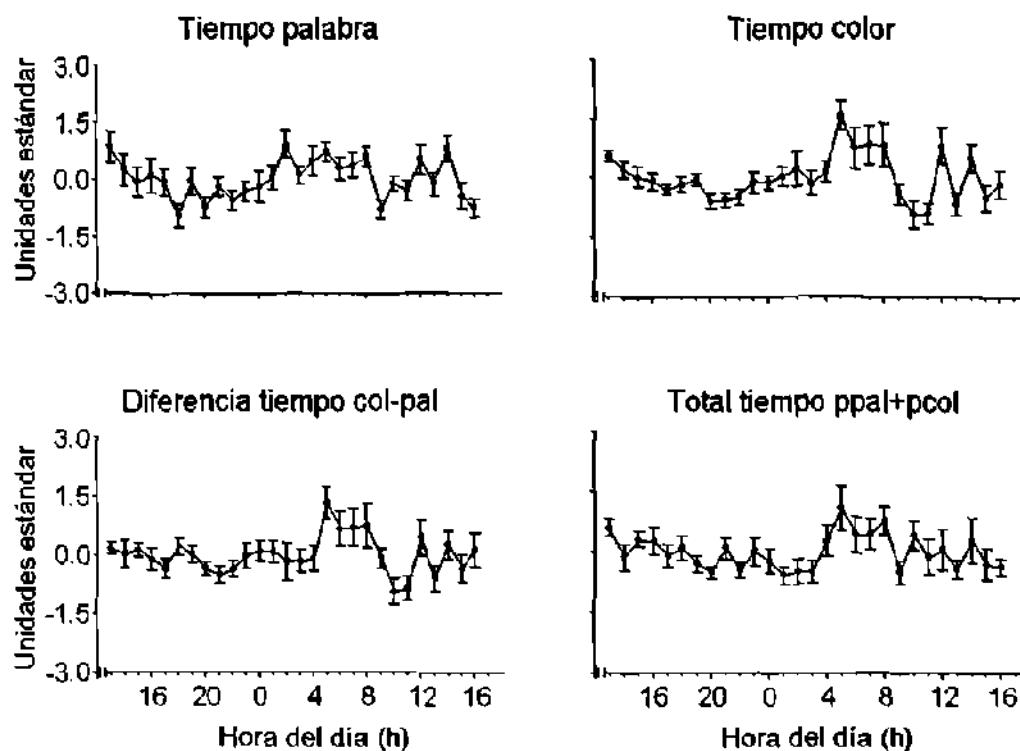


Figura 13. Tiempo por cada etapa de la prueba de Stroop. Col-pal es la diferencia entre el tiempo que tardaban en decir el color menos el tiempo que tardaban en leer las palabras. Ppal+pcol es tiempo que tardaban en terminar las dos últimas etapas de la prueba, en las que tenían que cambiar frecuentemente el criterio.

Capítulo 5. Discusión y conclusiones

Como se mencionó antes, existen dos osciladores circadianos *X* e *Y*. En este estudio fue factible documentar la fase del oscilador *X* por medio del registro de la temperatura rectal. La acrofase ocurrió en promedio a las 15:40 ($s=00:58$) hora del día. La fase del oscilador *Y* se obtuvo por medio del ciclo vigilia sueño, en este caso se obtuvieron dos valores, uno entre semana y otro en fin de semana. Se observó una relación de fase entre el ciclo de vigilia sueño (oscilador *Y*) y el ciclo en la temperatura corporal (oscilador *X*). Entre semana las participantes se acostaban en un momento en que su temperatura corporal apenas empezaba a descender y el nivel de somnolencia aún estaba bajo, se despertaban cuando la temperatura corporal estaba baja y la somnolencia aún estaba alta. El fin de semana las voluntarias empezaban a dormir cuando la temperatura corporal ya estaba en un nivel más bajo y cuando la somnolencia empezaba a aumentar, se levantaban cuando la temperatura corporal ya estaba

alta y la somnolencia estaba descendiendo. Estos datos sugieren que entre semana las personas se acuestan en un momento en que el organismo aún no está en las mejores condiciones para dormir y se levantan cuando el organismo aún no se encuentra en las mejores condiciones para activarse. Además, entre semana las personas duran menos tiempo durmiendo, lo cual sugiere una privación parcial del sueño durante la semana. La duración del dormir aumenta el fin de semana, esto puede indicar la cantidad de sueño que requieren las personas o una compensación por la privación parcial de sueño que ocurre entre semana. Estos resultados concuerdan con lo que han observado otros investigadores con respecto al retraso y la extensión del sueño los fines de semana (Webb, 1985; Lack, 1986; Binkley, 1993), especialmente en personas que trabajan 5 días (de lunes a viernes) y descansan los dos restantes (sábado y domingo). Se ha explicado la extensión del sueño durante los fines de semana como una compensación debido a la privación parcial del sueño que ocurre los días de trabajo. Por otro lado, se ha explicado el retraso del sueño debido a la tendencia

de los ritmos circadianos a adoptar un período mayor de 24 horas (Valdez, Ramírez y García, 1996; Valdez, Ramírez y García, 2003).

En las variables subjetivas se observó que tanto la somnolencia como el cansancio aumentaron durante la sesión de registro. Sin embargo ocurrió una disociación entre estas variables, ya que se observaron variaciones con respecto a la hora del día en la somnolencia, pero no en el cansancio. Esta disociación sugiere que las personas son capaces de diferenciar de alguna forma las sensaciones subjetivas vinculadas a la somnolencia y el cansancio. En general, las personas suelen sentirse somnolientas y cansadas al mismo tiempo, pero existen momentos en los que se sienten somnolientas, pero no cansadas y viceversa. Esta diferenciación entre somnolencia y cansancio puede ser muy importante en los ambientes laborales y en la práctica clínica (Åkerstedt y cols., 2004), por ejemplo en la hipersomnolencia diurna los pacientes pueden sentirse somnolientos casi todo el tiempo, aunque no necesariamente cansados. Por otro lado algunos pacientes con insomnio se sienten

cansados, pero no con suficiente somnolencia para iniciar el sueño.

En cuanto a los componentes atencionales, se observó una disminución en la ejecución en todas las variables durante la sesión de registro. Sin embargo, ocurrió una disociación entre dos tipos de indicadores. Los indicadores de alerta tónica, alerta fásica y atención selectiva presentaron variaciones con la hora del día, mientras que los indicadores de vigilancia (concentración) solamente mostraron una peor ejecución en el transcurso de la sesión. Esto sugiere que el nivel de alerta tónica, alerta fásica y atención selectiva se modificaron tanto por el cansancio como por el ritmo circadiano (oscilador X). En cambio, la vigilancia se modifica debido al cansancio. Hasta lo que se ha podido documentar, este es el primer trabajo donde se demuestra esta disociación. Esta disociación constituye una evidencia importante de que la atención no es un fenómeno unitario y solamente algunos componentes atencionales presentan variaciones circadianas. Las variaciones en estos procesos básicos

(los componentes atencionales) pueden explicar las oscilaciones circadianas que se han observado en la ejecución de muchas tareas tales como: tiempo de reacción, memoria, comprensión de lectura, percepción del tiempo, etc.

De acuerdo con el modelo neuropsicológico de la atención que se propuso en este trabajo, los resultados sugieren que existen variaciones circadianas en dos procesos neuropsicológicos: en el nivel de alerta y en las funciones ejecutivas. En el nivel de alerta participa el sistema reticular, que se encarga de respuestas inmediatas al ambiente (alerta tónica), mientras que en las funciones ejecutivas participa el sistema prefrontal, que se encarga de respuestas específicas, orientadas a una meta (alerta fásica y atención selectiva). Muchos autores han planteado que los ritmos circadianos modulan el nivel general de alerta (Carrier y Monk, 2000), lo cual concuerda con las variaciones circadianas en el nivel de alerta tónica que se encontró en este trabajo, pero solamente en un trabajo publicado se presentan evidencias de

variaciones circadianas en la actividad electroencefalográfica de la corteza frontal (Cajochen y cols., 1999), aunque también se observan variaciones circadianas en otras áreas de la corteza cerebral (Aeschbach y cols., 1999). El sistema prefrontal es muy importante ya que participa en la ejecución de respuestas específicas, en la toma de decisiones y en la solución de problemas. Los resultados de este trabajo apoyan la hipótesis de que el reloj circadiano modula dos sistemas cerebrales específicos: el sistema reticular y el sistema prefrontal. En consecuencia, el reloj no induce cambios generalizados en el cerebro, debidos a cambios inespecíficos producto de las oscilaciones circadianas en la temperatura corporal y el metabolismo. Además, los cambios en la ejecución están sincronizados con la temperatura corporal, pero con un retardo en la fase; esto sugiere que la ejecución es otra manifestación del reloj circadiano, no una respuesta pasiva a los cambios en la temperatura corporal. Estos resultados no concuerdan con la teoría unifactorial de Kleitman (1963), ya que las variaciones circadianas en la ejecución no se pueden explicar como

una respuesta pasiva directamente a consecuencia de las oscilaciones en la temperatura corporal. Los datos del presente trabajo concuerdan mejor con la teoría bifactorial de Borbély (1982), ya que se observó una influencia importante de la fatiga sobre la ejecución. Sin embargo, es necesario ampliar la teoría bifactorial para incluir la participación de los sistemas reticular (nivel de alerta) y prefrontal (funciones ejecutivas) en los mecanismos circadianos y homeostáticos.

Las variaciones circadianas que se observaron en este trabajo tienen repercusiones sobre muchas áreas aplicadas. Uno de los campos donde este hallazgo tiene implicaciones inmediatas y cruciales es en el trabajo, tanto en el trabajo nocturno, como en el trabajo rotatorio y el turno diurno. Cuando una persona tiene que trabajar una jornada prolongada con privación de sueño, lo más probable es que su ejecución se deteriore progresivamente, ya que se va reduciendo la eficiencia en todos los componentes atencionales. Si la persona tiene que trabajar durante la noche, a la hora en que le baja la temperatura corporal tendrá una reducción

aún mayor en algunos comportamientos atencionales (alerta tónica, alerta fásica y atención selectiva), pero no en la vigilancia. A esas horas del día (madrugada) la persona sigue trabajando debido a que aún tiene algo de vigilancia, pero con una reducción importante en la eficiencia y velocidad para responder a estímulos específicos. Podemos poner como ejemplo a un conductor, ya sea de un avión, ferrocarril, un automóvil, un autobús de pasajeros o un vehículo de transporte. Entre más tiempo permanezca trabajando de forma continua, peor será su ejecución, pero en la madrugada y en las primeras horas de la mañana, cuando le disminuye la temperatura corporal, estará cansado, con una vigilancia disminuida, pero que aún le permite seguir respondiendo. En esos momentos, estará notablemente reducida su eficiencia y velocidad para responder a eventos específicos (alerta tónica, alerta fásica, atención selectiva). Podemos prever que en estas condiciones la persona seguirá conduciendo en automático, pero existe una mayor probabilidad de que ocurra un accidente si ocurre cualquier evento

inesperado y la persona tiene que dar respuestas específicas o tomar decisiones.

Las variaciones circadianas en los componentes atencionales también tienen implicaciones con respecto a la educación, la atención es muy importante para el aprendizaje. Las variaciones descritas en los componentes atencionales podrían ser la base de variaciones en el rendimiento de diversas pruebas y actividades escolares en estudiantes con diferente cronotipo (madrugadores-trasnochadores).

El presente trabajo abre una línea de investigación que tiene muchas implicaciones teóricas, metodológicas y aplicadas. Este trabajo plantea nuevas preguntas, algunas de ellas se plantean enseguida.

Es importante seguir analizando a profundidad las variaciones circadianas en los componentes atencionales. Sería útil usar otros indicadores de estos procesos, tanto en registros en condiciones constantes, como en registros en condiciones de desincronización forzada y en estudios de campo (personas que viven sus rutinas regulares). Es

importante también verificar con mayor precisión el papel de los ritmos circadianos, la somnolencia y el cansancio, en la atención. Para ello sería crucial analizar como se afectan los componentes atencionales en personas sin privación del sueño, con privación total del sueño y con privación parcial del sueño. También se podrían registrar personas con somnolencia, pero sin cansancio, así como personas que estuvieran en la condición opuesta. Se ha observado somnolencia después de comer (posprandial); es factible llevar a cabo estudios para determinar la influencia de los alimentos sobre los componentes atencionales, la somnolencia y el cansancio (Lowden y cols., 2004).

Muchos estudios en psicología se llevan a cabo sin tomar en cuenta la hora del día. Los datos de este trabajo sugieren que existen variaciones circadianas en algunos procesos psicológicos básicos, como la atención. En consecuencia, es necesario verificar qué aspectos de los procesos psicológicos dependen de los ritmos circadianos. En algunos casos esto implica tomar en cuenta la hora del día y el cronotipo al estudiar

los procesos psicológicos, pero en otros casos pueden requerirse modificaciones a las teorías que se han propuesto para explicar estos procesos.

Es necesario también analizar con más precisión cómo modula el reloj circadiano la actividad de los diversos sistemas cerebrales que son la base de la atención. Esto puede llevarse a cabo por medio del registro de pacientes con lesión en alguno de estos sistemas cerebrales, por ejemplo en la formación reticular o el área prefrontal. También se pueden registrar personas o pacientes en condiciones constantes, pero midiendo los indicadores de los componentes atencionales, junto con indicadores de la actividad de los sistemas cerebrales mencionados, tales como: electroencefalografía, mapeo cerebral, o técnicas de neuroimagen (tomografía axial computarizada, resonancia magnética nuclear, etc.). Este análisis puede llevarse a cabo también en pacientes con alteraciones atencionales, por ejemplo: déficit de atención, pacientes con síndromes confusionales.

Otro aspecto a estudiar es el análisis de distintas tareas a diferentes horas del día. La modulación circadiana en algunos componentes atencionales puede afectar la ejecución de muchas tareas, por lo tanto puede afectar el desempeño de trabajadores o estudiantes. Sería útil llevar a cabo estudios acerca del rendimiento laboral o escolar a diferentes horas del día y verificar cuales tareas dependen de las variaciones circadianas en los componentes atencionales. Este tipo de estudios pueden tener implicaciones prácticas en la productividad laboral y en el rendimiento escolar.

Conclusiones

Las conclusiones fundamentales de esta tesis son:

1. Tres componentes atencionales (alerta tónica, alerta fásica y atención selectiva) presentan variaciones circadianas. Estos componentes atencionales tienen una relación de fase con la temperatura corporal, de tal forma que la peor ejecución ocurre cuando la temperatura está en su nivel más bajo (batifase). La variación circadiana en estos componentes atencionales puede explicar las oscilaciones que se han observado en muchas tareas, tales como tiempo de reacción, memoria, comprensión de la lectura, percepción del tiempo.

2. La vigilancia (concentración) no presenta variaciones circadianas, sino que se relaciona con el cansancio. Cuando disminuye la temperatura corporal, la persona puede seguir dando respuestas automatizadas porque aún conserva un nivel bajo y estable de vigilancia, pero con una disminución significativa en su capacidad para dar respuestas específicas.

3. Las variaciones en los componentes atencionales mencionados sugieren que cuando disminuye la temperatura corporal, baja el funcionamiento del sistema reticular (alerta tónica), así como de algunos aspectos del sistema prefrontal (alerta fásica, atención selectiva).

Referencias bibliográficas

- Aeschbach, D., Matthews, J.R., Postolache, T.T., Jackson, M.A., Giesen, H.A. y Wehr, T.A. (1999). Two circadian rhythms in the human electroencephalogram during wakefulness. *Am J Physiol*, 277, R1771-9.
- Åkerstedt, T. y Froberg, J. E. (1981). Night shift work effects on health and well-being. En: L. Levi (Dirs), *Society, Stress and Disease* (Vol. 4, pp 76-81). *Working Life*. Oxford, Oxford University Press.
- Åkerstedt, T., Billiard, M., Bonnet, M., Ficca, G., Garma, L., Mariotti, M., Salzarulo, P. y Schulz, H. (2002). Awakening from sleep. *Sleep Med Rev*, 6, 267-286.
- Åkerstedt, T., Knutsson, A., Westerholm, P., Theorell, T., Alfredsson, P. y Kecklund, G. (2004). Mental fatigue, work and sleep. *Journal of Psychosomatic Research*, 56, 1-7.

- Arendt J. y Skene D. J. (2005). Melatonin as a chronobiotic. *Sleep Med Rev*, 9, 25-39.
- Arendt, J. y Marks, V. (1982). Physiological changes underlying jet lag. *Br Med J (Clin Res Ed)*, 284, 144-146.
- Aschoff, J. (1976). Circadian systems in man and their implications. *Hosp Pract*, 11, 51-97.
- Baddeley, A. D., Hatter, J. E., Scot, D. y Snashall, A. (1970). Memory and time of day. *Q J Exp Psychol*, 22, 605-609.
- Baehr, E. K. Revelle, W. y Eastman, C. I. (2000). Individual differences in the phase and amplitude of the human circadian temperature rhythm: with an emphasis on morningness-eveningness. *J Sleep Res*, 9, 117-27.
- Baker, F. C., Waner, J. I., Vieira, E. F., Taylor, S. R., Driver, H. S. y Mitchell, D. (2001). Sleep and 24 hour body temperatures: a comparison in young men, naturally cycling women and women taking

hormonal contraceptives. *J Physiol*, 530(Pt 3), 565-574.

Benedito-Silva, A. A. (2003). Aspectos metodológicos da cronobiologia. En N. Marques y L. Menna-Barreto (Dirs.), *Cronobiologia: Princípios e Aplicações*. Sao Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

Berger, A. y Posner, M.I. (2000). Pathologies of brain attentional networks. *Neurosci Biobehav Rev*, 24, 3-5.

Berlyne, D. E. (1969). The development of the concept of attention in psychology. En C. R. Evans y T. B. Mulholland (Dirs.), *Attention in neurophysiology* (pags. 1-26). London: Butterworths.

Binkley, S. (1993). Individual, phase, and weekly variations in daily cycles of wrist activity in freelifing humans. *Physiol Behav*, 53, 205-7.

Blake, M. J. F. (1967). Time of day effects on performance in a range of task. *Psychon Sci*, 9, 349-350.

- Borbély, A. A. (1982). A two process model of sleep regulation. *Human Neurobiology, 1*, 195-204.
- Borbély, A. A. y Achermann, P. (1999). Sleep homeostasis and models of sleep regulation. *J Biol Rhythms, 14*, 557-568.
- Broadbent, D.E. (1979). Atención y percepción del lenguaje. En R.F. Thompson (Dir.), *Psicología Fisiológica*. (pp. 524-530). Madrid: Blume Ediciones.
- Cajochen, C., Khalsa, S.B., 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. *Am J Physiol, 277*, R640-9.
- Campbell, S. S., Murphy, P. J. y Boothroyd, C. E. (2001). Long-term time estimation is influenced by circadian phase. *Physiol Behav, 72*, 589-93.
- Carpentier, J. y Cazamian, P. (1977). El trabajo nocturno. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.

- Carrier, J. y Monk, T. H. (2000). Circadian rhythms of performance: New trends. *Chronobiology International*, 17, 719-732.
- Cedrus, (1999). *SuperLab*. Phoenix: Autor.
- Cluydts, R., De Valck, E., Verstraeten, E. y Theys, P. (2002). Daytime sleepiness and its evaluation. *Sleep Med Rev*, 6, 83-96.
- Cohen, R. A. (1993). *The neuropsychology of attention*. New York: Plenum Press.
- Colquhoun, W. P. (1971). Circadian variations in mental efficiency. En: W. P. Colquhoun (Dir.), *Biological rhythms and human performance* (Vol. pp.39-107) London, Academic Press.
- Curcio, G., Casagrande, M. y Bertini, M. (2001). Sleepiness: evaluating and quantifying methods. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 251-263.
- Czeisler, C. A., Duffy, J. F., Shanahan, T. L., Brown, E. N., Mitchell J. F., Rimmer, D. W., Ronda, J. M.,

Silva, E. J., Allan, J. S., Emens, J. S., Dijk, D. J. y Kronauer, R. E. (1999). Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, 284, 2177-2181.

D'Reaux, R. A., Neumann, C. S. y Rhymer, K. N. (2000). Time of day of testing and neuropsychological performance of schizophrenic patients and healthy controls. *Schizophrenia Research*, 45, 157-167.

Dawson, K. M. (2004). Temporal organization of the brain: Neurocognitive mechanisms and the clinical implications. *Brain and Cognition*, 54, 75-94.

DeMairan, J. (1729/1982). Observation botanique. *Histoire de L'Academie Royal des Sciences*, pags. 35-36. Reimpreso en: Moore-Ede, M.C., Sulzman, F.M. y Fuller, C.A. (1982). *The clocks that time us*. Cambridge: Harvard University Press, pag. 6. Artículo publicado originalmente en 1729.

Driver, J. (2001). A selective review of selective attention research from the past century. *British J Psychol*, 92, 53-78.

- Duffy, J. F. y Czeisler, C. A. (2002). Age-related change in the relationship between circadian period, circadian phase, and diurnal preference in humans. *Neurosci Lett*, 318, 117-20.
- Duffy, J. F. y Dijk, D. J. (2002). Getting through to circadian oscillators: why use constant routines? *J Biol Rhythms*, 17, 4-13.
- Egeth, H.E. y Yantis, S. (1997). Visual attention: control, representation, and time course. *Annu Rev Psychol*, 48, 269-97.
- Fernandez-Duque, D. y Johnson, M. (1999). Attention metaphors: How metaphors guide to cognitive psychology of attention. *Cognitive Science*, 23, 83-116.
- Folkard, S. y Monk, T. H. (1980). Circadian rhythms in human memory. *British Journal of Psychology*, 71, 295-307.
- Folkard, S., Åkerstedt, T., Macdonald, I., Tucker, P. y Spencer, M. B. (1999). Beyond the three-process model of alertness: estimating phase, time on

shift, and successive night effects. *J Biol Rhythms*, 14, 577-87.

Gescheider, G.A. (1997). *Psychophysics: The fundamentals*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Graw, P., Kräuchi, K., Knoblauch, V., Wirz-Justice, A. y Cajochen, C. (2004). Circadian and wake-dependent modulation of fastest and slowest reaction times during the psychomotor vigilance task. *Physiology y Behavior*, 80, 695-701

Hadj-Mabrouk, A., Hadj-Mabrouk, H. y Dogui, M. (2001). Chronobiologie de la vigilance. Approche d'application dans le domaine de la sécurité routière. *Recherche Transports Sécurité*, 73, 3-26.

Hanneman, S. K. (2001). Measuring circadian temperature rhythm. *Biol Res Nursing*, 2, 236-248.

Hart, T. y Hayden, M.E. (1986). The ecological validity of neuropsychological assessment and remediation. En B.P. Uzzell y Y. Gross (Dir.), *Clinical*

- neuropsychology of intervention*. (pp. 21-50).
Boston, USA: Martinus, Nijhoff Publishing.
- Hartlage, L.C. (2001). Neuropsychological testing of adults: further considerations for neurologists. *Arch Clin Neuropsychol*, 16, 201-13.
- Heilman, K. M. y Valenstein, E. (1985). *Clinical neuropsychology*. New York: Oxford University Press.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández, C.C. y Baptista, P.L. Anonymous. (2003). *Metodología de la Investigación*. 3rd ed, México: Mc Graw Hill.
- Homack, S. y Riccio, C.A. (2004). A meta-analysis of the sensitivity and specificity of the Stroop Color and Word Test with children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19, 725-743.
- Horne, J. A. y Ostberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4, 97-110.

- Jacklet, J.W. (1980). Protein synthesis requirement of the aplysia circadian clock. *Journal of Experimental Biology*, 85, 33-42.
- Jewett, M. E. y Kronauer, R. E. (1999). Interactive mathematical models of subjective alertness and cognitive throughput in humans. *J Biol Rhythms*, 14, 588-597.
- Johnston, W.A. y Dark, V.J. (1986). Selective attention. *Annu Rev Psychol*, 37, 43-75.
- Kinchla, R.A. (1992). Attention. *Annu Rev Psychol*, 43, 711-42.
- Kleitman, N. (1963). *Sleep and wakefulness*. Chicago, University of Chicago Press.
- Kleitman, N. y Jackson, D. P. (1950). Body temperature and performance under different routines. *J Appl Physiol*, 3, 309-328.
- Klerman, E. B., Gershengorn, H. B., Duffy, J. F. y Kronauer, R. E. (2002). Comparisons of the

variability of three markers of the human circadian pacemaker. *J Biol Rhythms*, 17, 181-193.

Kraemer, S., Danker-Hopfe, H., Dorn, H., Schmidt, A., Ehlert, I. y Herrmann, W. (2000). Time-of-Day Variations of Indicators of Attention: Performance, Physiologic Parameters, and Self-Assessment of Sleepiness. *Biol Psychiatry*, 48, 1069-1080.

Krieger, D.T. y Hauser, H. (1977). Suprachiasmatic nuclear lesions do not abolish food-shifted circadian adrenal and temperature rhythmicity. *Science*, 197, 398-399.

Kripke, D.F. (1974). Ultradian rhythms in sleep and wakefulness. En E.D. Weitzman (Dir.), *Advances in sleep research*. (pp. 305-325). New York: Spectrum Publications.

Kripke, D.F. y Wyborney, V.G. (1980). Lithium slows rat circadian rhythms. *Life Sciences*, 26, 1319-1321.

Kronauer, R. E., Czeisler, C. A., Pilato, S. F., Moore-Ede, M. C. y Weitzman, E. D. (1982). Mathematical model of the human circadian system with two

interacting oscillators. *American Journal of Physiology*, 242, R3-R17.

Kuriyama, K., Uchiyama, M., Suzuki, H., Tagaya, H., Ozaki, A. Aritake, S., Kamei, Y., Nishikawa, T. y Takahashi, K. (2003). Circadian fluctuation of time perception in healthy human subjects. *Neuroscience Research*, 46, 23-31.

Lachman, R., Lachman, J. y Butterfield, E. C. (1979). *Cognitive psychology and information processing: An introduction*. New York: Lawrence Erlbaum Associates.

Lack, L.C. (1986). Delayed sleep and sleep loss in university students. *Journal of American College Health*, 35, 105-110.

Lavie, P. (1980). The search for cycles in mental performance, from Lombard to Kleitman. *Chronobiologia*, 7, 247-256.

Lenné, M.G., Triggs, T.J. y Redman, J.R. (1997). Time of day variations in driving performance. *Accid Anal Prev*, 29, 431-7.

- Lezak, M. Anonymous. (1983). *Neuropsychological assessment*. 2nd ed, New York: Oxford University Press.
- Lockley, S.W., Skene, D.J. y Arendt. J. (1999). Comparison between subjective and actigraphic measurement of sleep and sleep rhythms. *J Sleep Res*, 8, 175-183.
- Lowden, A., Holmbäck, U., Torbjörn, A., Forslund, J., Lennernäs, M. y Forslund, A. (2004). Performance and sleepiness during a 24 h wake in constant conditions are affected by diet. *Biological Psychology*, 65, 251-263.
- Luce, G.G. (1971). *Biological rhythms in human and animal physiology* New York: Dover Publications.
- Luria, A.R. (1974). *El cerebro en acción*. Barcelona: Martínez Roca.
- Luria, A.R. (1986). *Las funciones corticales superiores del hombre*. México: Fontamara.

- MacLeod, C. M. y MacDonald, P. A. (2000). Interdimensional interference in the Stroop effect: uncovering the cognitive and neural anatomy of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 383-391.
- MacLeod, C.M. (1991). Half a century of research on the Stroop effect: an integrative review. *Psychological Bulletin*, 109 (2), 163-203.
- Minors, D. S. y Waterhouse, J. M. (1986). Circadian rhythms and their mechanisms. *Experientia*, 42, 1-13.
- Minors, D. S. y Waterhouse, J. M. (1988). Mathematical and statistical analysis of circadian rhythms. *Psychoneuroendocrinology*, 13, 443-464.
- Mongrain, V., Lavoie, S., Selmaoui, B., Paquet, J. y Dumont, M. (2004). Phase relationships between sleep-wake cycle and underlying circadian rhythms in Morningness-Eveningness. *J Biol Rhythms*, 19, 248-57.

- Monk, T. H. y Carrier, J. (1997). Speed of mental processing in the middle of the night. *Sleep*, 20, 399-401.
- Monk, T. H. y Carrier, J. (1998). A parallelism between human body temperature and performance independent of the endogenous circadian pacemaker. *J Biol Rhythms*, 13, 113-122.
- Monk, T. H., Buysse, D. J., Reynolds, C. F. y Kupfer, D. J. (1998). Endogenous circadian performance rhythms - relationship to temperature, cortisol, melatonin and alertness. En Y. Touitou (Dir.), *Biological clocks, mechanisms and applications* (pags. 557-562). New York: Elsevier.
- Monk, T.H. (2000). What can the chronobiologist do to help the shift worker? *J Biol Rhythms*, 15, 86-94.
- Monk, T.H. y Welsh, D.K. (2003). The role of chronobiology in sleep disorders medicine. *Sleep Med Rev*, 7, 455-73.

- Moore-Ede, M. C., Sulzman, F. M. y Fuller, C. A. (1982). *The clocks that time us*. Cambridge: Harvard University Press.
- Munar, E., Roselló, J y Sánchez-Cabaco, A. (1999). *Atención y percepción*. Madrid: Alianza Editorial.
- Nakao, M. Yamamoto, K. Honma, K. Hashimoto, S. Honma, S. Katayama, N. y Yamamoto, M. (2002). A phase dynamics model of human circadian rhythms. *J Biol Rhythms*, 17, 476-789.
- Natale, V., Alzan, A. y Cicogna, P. C. (2003). Cognitive efficiency and circadian typologies: a diurnal study. *Personality and Individual Differences*, 35, 1089-1105.
- Neisser, U. Anonymous. (1967). *Cognitive Psychology*. New Jersey: Prentice Hall.
- Palmer, J. D. (1976). *An introduction to biological rhythms*. New York: Academic Press.

- Pashler, H. Johnston, J. C. y Ruthruff, E. (2001). Attention and performance. *Annual Review of Psychology*, 52, 629-651.
- Posner, M. y Rafal, R. D. (1987). Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. En M. Meier, A. Benton y L. Diller. (Dirs.), *Neuropsychological rehabilitation* (pags. 182-201). New York: Gilford Press.
- Pribram, K. H. y McGuinness, D. (1975). Arousal, activation and effort in the control of attention. *Psychological Review*, 82, 116-149.
- Rains, G. D. (2002). *Principios de neuropsicología humana*. México: McGraw-Hill.
- Reinberg, A. y Smolensky, M. (1983). *Biological rhythms and medicine: cellular, metabolic, physiopathologic, and pharmacologic aspects*. New York: Springer-Verlag.
- Riccio C. A., Reynolds C. R., Lowe P., Moore J. J. (2002). The continuous performance test: a window

on the neural substrates for attention? *Arch Clin Neuropsychol* 17, 235-272.

Richter, C.P. (1977). Heavy water as a tool for study of the forces that control length of period of the 24-hour clock of the hamster. *Proceedings of the National Academy of Sciences U. S. A*, 71, 1295-1299.

Roselló, J. (1997). *Psicología de la atención*. Madrid: Ediciones Pirámide.

Roselló, J.M. (1999). Selección para la percepción, selección para la acción. En E. Munar, J. Roselló y A. Sánchez-Cabaco (Dir.), *Atención y percepción*. (pp. 99-150). Madrid, España: Alianza Editorial.

Sarter, M., Givens, B. y Bruno, J. P. (2001). The cognitive neuroscience of sustained attention: where top-down meets bottom-up. *Brain Research Reviews*, 35, 146-160.

Smith, M.J., Colligan, M.J. y Tasto, D.L. (1982). Health and safety consequences of shift work in the food processing industry. *Ergonomics*, 25, 133-134.

- Sokolov, E. N. (1960). Neuronal models and the orienting reflex. En M.A.B. Brazier (Dir.), *The central nervous system and behavior* (pags. 187-276). New York: Josiah Macy Foundation.
- Statsoft (1994). *Statistica*. Tulsa: Autor.
- Stephan, F.K. (2002). The "other" circadian system: food as a zeitgeber. *Journal of Biological Rhythms*, 17, 284-292.
- 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 U. S. A.*, 69, 1583-1586.
- Stroop, J.R.. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 28, 643-662.
- Stuss, D.T. y Levine, B. (2002). Adult clinical neuropsychology: lessons from studies of the frontal lobes. *Annual Review of Psychology*, 53 401-433.

- Swets, J.A. y Kristofferson (1970). Attention. *Annual Review of Psychology*, 21 339-366.
- Tassi, P. y Muzet, A. (2000). Sleep inertia. *Sleep Med Rev*, 4, 341-353.
- Tejero, P.G. (1999). Panorama histórico-conceptual del estudio de la atención. En E. Munar, J. Rosselló y A. Sánchez-Cabaco (Dirs.), *Atención y percepción*. (pp. 33-62). Madrid, España: Alianza Editorial.
- Téllez (1998), *Trastornos del sueño: diagnóstico y tratamiento*. México: Trillas.
- Touitou, I. (1998). *Biological clocks. Mechanisms and applications*. Amsterdam: Elsevier.
- Valdez, P. (1988). Ritmos circadianos y conducta. En E. Cairo Valcárcel (Dir.), *La neuropsicología, una nueva rama en el conocimiento psicológico*. Tomo V (pags. 167-206). La Habana: Editorial ENPES.
- Valdez, P., Ramírez, C. y García, A. (1996). Delaying and extending sleep during weekends: sleep recovery

or circadian effect? *Chronobiology International*, 13, 191-198.

Valdez, P., Ramírez, C. y García, A. (2003). Adjustment of the sleep-wake cycle to small (1-2 h) changes in schedule. *Biological Rhythm Research*, 34, 145-155.

Valdez, P., Ramírez, C. y Téllez, A. (1998). Trastornos del ciclo dormir-vigilia. En A. Téllez (Dir.), *Trastornos del sueño: diagnóstico y tratamiento*. (pags. 193-230), México: Trillas.

Van der Linden, D., Frese, M. y Meijman, T.F. (2003). Mental fatigue and the control of cognitive processes: effects on perseveration and planning. *Acta Psychologica*, 113, 45-65.

Vitaterna, M.H., Takahashi, J.S. y Turek, F.W. (2001). Overview of circadian rhythms. *Alcohol Res Health*, 25, 85-93.

Webb, W.W. (1985). Sleep in industrialized settings in the northern hemisphere. *Psychological Reports*, 57, 591-598.

- Wever RA. (1984). Sex differences in human circadian rhythms: intrinsic periods and sleep fractions. *Experientia*, 40, 1226-1234.
- Winfree, A. T. (1967). Biological rhythms and the behavior of populations of coupled oscillators. *Journal of Theoretical Biology*, 16, 15-42.
- Wright, K. P., Hull, J. T. y Czeisler, C. A. (2002). Relationship between alertness, performance and body temperature in humans. *Am J Physiol*, 283, R1370-R1377.



