



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS Y SOCIALES

Los ritmos circadianos y su relación con el rendimiento cognitivo

Autora: Macarena González Pérez

Directora: Noelia Ruiz Herrera

Madrid
2020/2021

Resumen

El funcionamiento del organismo humano está sujeto a unos ritmos circadianos que le permiten lograr un equilibrio interno, así como estar en consonancia con las condiciones ambientales. La regulación de los ritmos circadianos, especialmente del ritmo sueño-vigilia, tiene una implicación directa sobre las capacidades cognitivas de los humanos en circunstancias normales. El núcleo supraquiasmático (NSQ) se conoce como *reloj biológico* y su labor de regular los ritmos biológicos internos se asocia con la liberación de neurotransmisores, como la melatonina, que se secreta durante la oscuridad para conciliar el sueño. El proceso de sueño entre otras funciones, destacada por su papel en la consolidación de la memoria, la atención y las funciones ejecutivas como principales dominios cognitivos. Una ausencia, interrupción o alteración del sueño puede ocasionar graves consecuencias en el funcionamiento cognitivo y el CI. Existen variables como cronotipo que influye sobre el sueño y el rendimiento.

Palabras clave: ritmos circadianos, ciclo sueño-vigilia, núcleo supraquiasmático, rendimiento cognitivo, cronotipo, atención, memoria, funciones ejecutivas.

Abstract

The functioning of the human organism is subject to circadian rhythms that enable it to accomplish its internal balance, as well as to be in line with environmental conditions. The regulation of circadian rhythms, especially the sleep-wake rhythm, is directly involved in the cognitive abilities of humans under normal circumstances. The suprachiasmatic nucleus (SCN) is known as the biological clock, and its role in regulating internal biological rhythms is associated with the release of neurotransmitters, such as melatonin, which is secreted during darkness to facilitate sleep. The sleep process plays a crucial role, among other functions, in the consolidation of memory, in attention and in the executive functions as the main cognitive domains. The absence, interruption or alteration of sleep can have serious consequences on cognitive functioning and IQ. There are variables such as chronotype that influence sleep and performance.

Key words: circadian rhythms, sleep-wake cycle, suprachiasmatic nucleus, cognitive performance, chronotype, attention, memory, executive functions.

Índice de contenidos:

	Pg.
1. Objetivos, metodología e introducción.....	4
2. Ritmos circadianos.....	5
2.1 Contextualización.....	5
2.2 Los ritmos circadianos.....	6
2.2.1 Funcionamiento del NSQ.....	6
2.2.2 Estímulos de entrada y de salida del NSQ.....	7
2.2.3 Preferencia circadiana.....	8
2.3 El sueño.....	8
2.3.1 Fases en el ciclo del sueño.....	10
3. Las funciones cognitivas.....	11
3.1 Clasificación de las funciones cognitivas.....	14
3.1.1 Atención.....	14
3.1.2 Memoria.....	15
3.1.3 Funciones ejecutivas.....	16
4. Efectos del ciclo sueño-vigilia sobre el rendimiento cognitivo en adultos.....	16
4.1 Implicación del sueño en la atención.....	17
4.2 Implicación del sueño en la memoria.....	18
4.3 Implicación del sueño en las funciones ejecutivas.....	20
5. Discusión.....	21
6. Conclusión.....	23
7. Bibliografía.....	24

Objetivos, metodología e introducción

El presente trabajo pretende realizar una revisión bibliográfica centrada primeramente en los ritmos circadianos y en segundo lugar en el rendimiento cognitivo. Por último, un repaso por la literatura científica que ha vinculado los ritmos circadianos y el rendimiento cognitivo en población adulta no clínica. Surge de la inquietud por conocer más en profundidad los efectos negativos que acarrea la falta de sueño, y especialmente las consecuencias a nivel intelectual. La razón que motivó la elección de esta cuestión es principalmente la gran importancia que el tema presente tiene hoy en día, debido al notorio incremento de patologías y sintomatología asociadas a trastornos de sueño, alteraciones, o restricción.

La metodología del estudio se ha realizado a partir de una extensa búsqueda bibliográfica sobre los ritmos circadianos, las funciones del sueño, las bases psicofisiológicas del mismo, el rendimiento cognitivo y sus factores a nivel individual. La búsqueda de dichos documentos se ha realizado principalmente a través de las bases de datos Dialnet, PsycInfo, Google Scholar, Psycodoc.

La especie humana lleva décadas adaptándose a los cambios del entorno, desarrollando unos mecanismos que le permiten ser flexibles y desenvolverse en ambientes complejos. El objetivo es claro, ser lo más eficientes posibles para generar las respuestas óptimas a las demandas de cada momento. El encéfalo ha sufrido muchos cambios a nivel estructural, y de manera simultánea, la especie ha ido desarrollando su facultad estrella “la inteligencia”. Esta habilidad surge de una necesidad de adaptación al entorno para conseguir sobrevivir y enfrentarse a las adversidades. La inteligencia diferencia a la especie humana de otros seres vivos y situándola en lo más alto de la cadena alimenticia. El contexto sociocultural actual se caracteriza por la complejidad y la interconexión, y exige a los individuos que constituyen esta sociedad, una gran capacidad de adaptación debido a su carácter cambiante y dinámico. El ser humano se ha visto obligado a desempeñar su actividad de una manera más inmediata y competitiva que nunca, buscando diferenciarse los unos de los otros para alcanzar las expectativas (Stelzer y Cervigni, 2011). En el contexto del trabajo o los estudios, incluso en el deporte, se observa la necesidad de optimizar todas las capacidades y habilidades, especialmente

aquellas relacionadas con las funciones cognitivas, para obtener el máximo rendimiento posible. El importante papel que desempeñan las funciones cognitivas se ha ido destapando a lo largo del tiempo gracias a los avances científicos. En resumen, un rendimiento cognitivo óptimo permite un mejor ajuste de cara a las demandas del ambiente y mayor eficacia en la ejecución de diversas tareas (Mulsow, 2008). Por otro lado, el concepto de “sueño” siempre ha suscitado curiosidad, inquietud y ha recibido diversas connotaciones e interpretaciones en función del contexto sociocultural, convirtiéndose en un área de estudio que ha generado una gran atracción en los científicos. No es extraño encontrar creencias o atribuciones misteriosas y fascinantes asociadas al sueño en apartados literarios, filosóficos o incluso científicos. El avance que se ha producido en las últimas décadas ha sacado a la luz una parte de realidad objetiva del complejo proceso del sueño y sus mecanismos cerebrales subyacentes, resaltando, como lo plantea Siegel (2008) y Vales et al., (2018), la importancia del sueño en la salud integral de los seres vivos, haciendo especial énfasis en el ser humano (Ríos-Flórez, López-Gutierrez y Escudero-Corrales, 2019, p. 13).

Los ritmos circadianos

Contextualización

Es necesario remontarse a la geofísica del planeta para comprender los ritmos circadianos en los seres humanos (*circadiano* es un término procedente del latín, significa “cerca del día”, es decir, alrededor de 24 horas). La tierra realiza un movimiento de rotación sobre su propio eje y otro movimiento de traslación, alrededor del sol, de esta manera, se producen lo que se llama los *ciclos estacionales* y los *ciclos de luz-oscuridad*. La vida en la tierra es posterior al desarrollo de esta dinámica, razón por la cual los seres vivos han desarrollado un carácter cíclico adaptativo que les permite estar sincronizados y condicionados por estos movimientos planetarios.

Los organismos reflejan las características cíclicas de la tierra en su morfología y funcionamiento. Los seres humanos presentan ritmicidad en la temperatura corporal, en la frecuencia cardíaca, en el sistema endocrino, en el rendimiento físico, etc. Esta ritmicidad se debe a los denominados ritmos circadianos. Durante muchos años, existió la creencia de que este comportamiento cíclico era simplemente una respuesta puramente

externa a los movimientos giratorios del planeta. Sin embargo, se ha descubierto que el origen de este comportamiento no es únicamente exógeno, sino más bien, de naturaleza endógeno.

Los ritmos circadianos

Funcionamiento del núcleo supraquiasmático (NSQ). Las primeras investigaciones relacionadas con la estructura responsable de regular los ritmos circadianos en los seres humanos son llevadas a cabo por el médico alemán Jürgen Aschoff, a principios de los 60 del s. XX. Aschoff (1976), realiza un experimento que consiste en aislar una serie de sujetos de las condiciones ambientales externas y observar su comportamiento. Finalmente, a pesar de cambiar las condiciones ambientales, detecta que la periodicidad del ciclo sueño-vigilia se mantiene. Sin embargo, estos ciclos no son exactos, la duración tiende a ser superior a 24 horas, oscilando entre 24'5 y 28. Estos descubrimientos implican la existencia en el organismo humano de una estructura reguladora cíclica. Tras años indagando en la cuestión, se descubre mediante estudios de lesiones en animales de laboratorio, la presencia de una estructura hipotalámica que actúa como *reloj biológico*, el núcleo supraquiasmático (NSQ), situado en el hipotálamo ventral.

El NSQ, marcapasos central, o reloj biológico presenta una anatomía compleja, en la que intervienen numerosas neuronas, neurotransmisores, neuropéptidos y sinapsis. Además, es una estructura autónoma que desarrolla su actividad aislada, como mínimo hasta dos ciclos completos (Ramírez, Ramírez, Martínez, Prieto, Sánchez y Alba, 1998). El NSQ se encarga de recibir información del exterior y trasladarla por medio de la liberación episódica de hormonas hipotalámicas e hipofisarias a los órganos. La acción del NSQ depende directamente de zona fóptica (aquella en la que penetra la luz), en concreto de distintos tipos de fotorreceptores (conos y bastones) situados en la retina, estructura sensible a la información lumínica del exterior. A través del tracto retinohipotalámico, se transmiten las condiciones de luz u oscuridad ambiental. Recientes investigaciones demuestran la existencia de un tercer tipo de fotorreceptor, las *células ganglionares intrínsecamente fotosensibles* implicadas en dicho proceso (Díaz-Negrillo, 2013).

Estímulos de entrada y de salida del NSQ. Los estímulos externos que ponen en funcionamiento el NSQ se denominan *zeitgebers* (proviene del alemán: *los que dan la hora*) o sincronizadores. Los *zeitgebers* son los responsables de sincronizar la actividad del reloj biológico y como consecuencia de los osciladores periféricos. Los sincronizadores principales son: el ciclo luz-oscuridad, el ciclo actividad-reposo, la alimentación y las interacciones sociales (Lucas, Martínez, Escames y de Costa, 2012); siendo el más potente el ciclo luz-oscuridad. En definitiva, el ritmo endógeno del cuerpo se ajusta al ritmo exógeno por medio del *zeitgeber* más relevante, la luminosidad ambiental.

El marcapasos circadiano central dirige la actividad rítmica de un conjunto de osciladores periféricos localizados en la mayoría de las células y tejidos, como el hígado, pulmón, corazón, páncreas o músculo esquelético (Stratmann y Schibler, 2006), a través de los cuales, se amplificará al resto del organismo. La desincronización de dichos osciladores periféricos se puede dar bajo determinadas condiciones como la restricción alimentaria o desajustes de los tiempos del sueño, como el conocido *jet lag*. Estas células necesitan “ser puestas en hora” bajo la coordinación del NSQ (Rodríguez, 2017).

El ciclo luz-oscuridad configura el ciclo endógeno vigilia-sueño. Este proceso comienza en el NSQ, que recibe información ambiental de la retina, hasta llegar a la glándula pineal por medio de un circuito conocido como *fotoneuroendocrino*: Desde la retina se producen impulsos nerviosos que viajan a través del tracto retinohipotalámico hasta alcanzar el NSQ y el núcleo paraventricular, otra estructura que conforma en hipotálamo. Estos núcleos van a proyectar al núcleo intermediolateral de la médula espinal hasta alcanzar el ganglio superior cervical. Este ganglio superior cervical inerva por nervios simpáticos la glándula pineal (Ramírez et al., 1998).

La glándula pineal es una pequeña glándula endocrina situada en el cerebro, donde se sintetiza y secreta de forma rítmica la melatonina, además de otras muchas hormonas proteicas de los sistemas endocrino y neuroendocrino. La melatonina es una hormona que tiene como funciones principales regular el reloj biológico, estimular la secreción de la hormona de crecimiento, modular la producción de gonadotropinas (implicadas en el apetito) y mejorar el sistema inmunológico del cuerpo aumentando sus defensas. La liberación de la melatonina se produce durante el período de oscuridad y su secreción se

inhibe durante períodos de luz, promoviendo el sueño en los seres humanos. El interés por esta hormona es creciente y es común su uso en tratamientos en las alteraciones del sueño (Díaz-Negrillo, 2013). Es también necesario destacar el papel del cortisol. Este glucocorticoide sigue un ritmo opuesto a la melatonina, y se asocia la liberación de cortisol con la vigilia.

La temperatura corporal es otro sistema circadiano muy asentado en el organismo. Esta presenta los valores más altos en periodos de vigilia, cuando más cortisol y menos melatonina se secreta. La *acrofase* o *cenit*, es el momento máximo de temperatura corporal, a las 17:00/18:00, por otro lado, los valores mínimos de temperatura son alrededor 05:00/06:00 y se conocen como *nadir*.

Preferencia circadiana. Cada individuo posee una preferencia circadiana o *cronotipo*, que va a determinar cuando desarrolle su actividad y cuando su sueño. Existen tres tipologías circadianas: los matutinos, los intermedios y los vespertinos.

Los individuos matutinos suelen acostarse y levantarse más temprano y están más sincronizados que el resto de población con el ciclo luz-oscuridad. Esta tipología destaca por presentar un mayor rendimiento y niveles de activación por la mañana. Es una tipología muy común entre sujetos menores de 10 años y mayores de 50. Los vespertinos son aquellos sujetos que tienden a acostarse y levantarse tarde. Presentan mayor rendimiento y niveles de activación en las últimas horas de la tarde. Diversos estudios señalan a este cronotipo como el más proclive al *jet lag social*. Este fenómeno consiste en una discrepancia en el horario biológico y social entre días laborables y no laborables (Antúnez, Navarro y Adan, 2014). Por último y más prevalente estaría el grupo de la preferencia circadiana intermedia, que supone un 60% de la población adulta. Esta última tipología se caracteriza por situarse entre la media de valor de los vespertinos y los matutinos. Es importante tener en consideración factores como el sexo, la edad, la latitud, el clima, variables ambientales, etc, que pueden determinar el cronotipo (Antúnez et al., 2014).

El sueño

El sueño es una función vital muy compleja, durante la cual se modifican todos los procesos fisiológicos del organismo. Las estructuras responsables del sueño se encuentran

en el tronco encefálico, el tálamo, en el hipotálamo anterior y en el área preóptica (Bauzano-Poley, 2003).

Los ritmos circadianos regulan el ciclo sueño-vigilia, que a su vez es regulado por unos componentes bioquímicos. Las investigaciones sobre el sueño comienzan en 1953, de la mano de los investigadores Aserinsky y Kleitman, quienes realizan una clasificación del sueño en sueño No *MOR* y sueño *MOR* (siglas de “no movimientos oculares rápidos” y “movimientos oculares rápidos”). Posteriormente, se hallan evidencias del predominio de sustancias de naturaleza peptídica (hormonas proteicas) en la regulación del proceso del sueño.

El ciclo sueño-vigilia está moderado por unas estructuras que conforman una red neuronal compleja. Las sinapsis que se ocasionan dentro de esta red neuronal liberan, siguiendo un patrón cíclico, neurotransmisores encargados de producir una respuesta fisiológica de tipo excitatoria, inhibitoria o neuromoduladora. En resumen, el ritmo circadiano sueño-vigilia tiene como base una implicación bioquímica que marca las fases de descanso y activación.

Los principalmente neurotransmisores involucrados en el sueño son la dopamina, la noradrenalina, el ácido γ -aminobutírico (GABA), la adenosina, la acetilcolina, la serotonina, el glutamato y la melatonina.

Ríos-Flórez et al., (2019) refieren que algunos neurotransmisores como la acetilcolina y el ácido γ -aminobutírico (GABA) se asocian con la consolidación, durante el ciclo del sueño, de la actividad cognitiva.

Es necesario comprender la importancia de mantener una sincronía y equilibrio entre los ciclos ambientales y los ritmos biológicos del sueño, puesto que una desregulación de estos podría implicar un desgaste interno del organismo, afectando a la actividad cerebral, demostrando el papel protagonista que posee el proceso del sueño en el organismo humano. Además, a menudo, este desequilibrio desemboca en patologías tanto físicas como mentales (Carrillo-Mora et al., 2013).

Fases en el ciclo del sueño. Con el objetivo de poder estudiar las horas del sueño y el estado en el que se encuentran los individuos se realizan estudios de laboratorio bajo condiciones controladas. Estos estudios consisten en registrar la actividad neuronal de un sujeto mientras duerme, mediante electrodos colocados en todo el cuerpo. Estos sensores permiten registrar algunas variables electrofisiológicas como el (1) electroencefalograma (EEG), una herramienta tecnológica que permite estudiar la fisiología del sueño (Carrillo-Mora, et al., 2013). El EEG detecta la actividad eléctrica del cerebro mediante ondas de distinta amplitud: *Alfa, beta, theta y delta* (ordenadas de menor a mayor actividad) (Ríos-Flórez et al., 2019); (2) El electrooculograma, se utiliza como instrumento de medición de los movimientos oculares rápidos (Seelke, Karlsson, Gall y Blumberg, 2005); (3) La electromiografía, un procedimiento que registra potenciales microeléctricos de los músculos y ofrece una evaluación de la actividad neuromuscular (Correa, Otárola y Del Lago, 2000); (4) El flujo respiratorio, el cual varía en las distintas fases del sueño, produciéndose una disminución de la frecuencia respiratoria durante la fase No MOR, y fluctuaciones durante el período de sueño MOR (Aguirre, 2013). También se puede registrar la (5) oximetría de pulso, como forma de medición del oxígeno en sangre. Una persona sana presenta una saturación de oxígeno en sangre ligeramente inferior durante las horas de sueño. Incluso es posible registrar la (6) posición corporal. Todas estas variables informan acerca de la fase de sueño en la que el individuo se encuentra (Lira y Custodio, 2018).

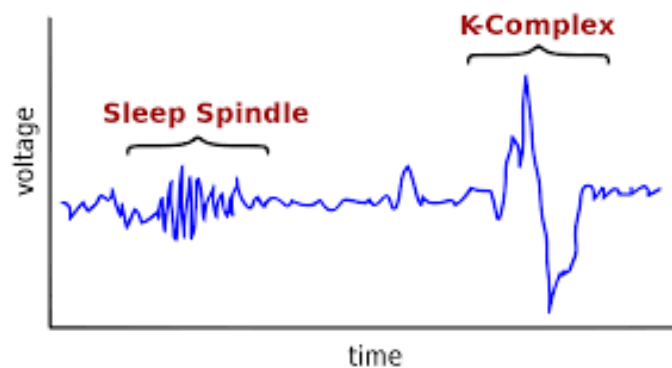
El sueño es un proceso discontinuo. Se han considerado principalmente dos etapas del sueño en relación con los cambios en la actividad eléctrica neuronal: Las antes mencionadas fases de sueño No MOR y MOR. Cabe destacar también que el período de sueño se organiza en ciclos (entre 4 y 5 por cada “noche”), en los que la fase No MOR y MOR se alternan sucesivamente (Velayos, Moleres, Irujo, Yllanes y Paternain, 2007).

La transición de un estado de vigilia a un estado de sueño se incluye en la primera etapa, la No MOR, o sueño de onda lenta (registrado por el EEG). Esta fase se caracteriza por presentar una mayor actividad neuronal (Ríos-Flórez et al., 2019). El sueño No MOR se divide a su vez en 4 etapas. La *Fase I*, de adormecimiento o somnolencia. La *Fase II*, que se caracteriza por un bloqueo de ingreso de información sensorial por parte del sistema nervioso. En esta fase destaca la aparición de spindles, husos de sueño o

husos sigma, y los complejos K, que son patrones específicos de actividad cerebral. La *Fase III*, un sueño más profundo con marcada disminución del tono muscular. Finalmente, el sueño MOR, que supone una desconexión total, es donde se producen los sueños (Velayos et al., 2007).

Figura 1

Husos del sueño



La necesidad de sueño en los seres humanos está muy determinada por la edad del individuo. Los recién nacidos requieren de unas 16-18 horas diarias de sueño. Esta demanda va disminuyendo progresivamente a lo largo del tiempo. El colectivo de la tercera edad es el que menos horas diarias de sueño necesita, aproximadamente 6. Por si fuera poco, presentan por lo general más despertares, menos sueño MOR y son matutinos (Lira y Custodio, 2018).

Diversos estudios muestran la relación que tiene las fases del sueño No MOR con la actividad cognitiva, especialmente con la consolidación del proceso de memoria y aprendizaje. Se ha observado una activación de las mismas áreas cerebrales durante el sueño No MOR y el aprendizaje. Por otro lado, las estructuras necesarias para la consolidación de la memoria también coinciden con aquellas estructuras cerebrales activadas durante el sueño MOR (Ríos-Flórez, et al., 2019).

Las funciones cognitivas

El concepto “cognitivo” proviene del latín, *cognoscere*, que significa conocer. Se refiere a la facultad de los seres humanos de conocer el mundo e interactuar con este por

medio de la percepción de los sentidos y el conocimiento adquirido por la experiencia. Las funciones cognitivas son todos aquellos procesos o habilidades mentales que se emplean para llevar a cabo infinidad de tareas, desde leer este trabajo, hasta resolver un problema matemático complejo. Incluye la adquisición, procesamiento y organización de la información que proviene del exterior. Estos procesos mentales van cambiando a lo largo de la vida, a medida que el niño interactúa y comprende el mundo de manera más eficiente y eficaz. Posteriormente se produce un declive durante la vejez. Existen diversas teorías acerca del desarrollo cognitivo en niños, siendo la más prominente la teoría de Piaget y Vygotsky (Oakley, 2004).

Las capacidades cognitivas dependen de dos factores: por un lado, la carga genética heredada de los progenitores, y por el otro lado factores ambientales y culturales (el patrón de crianza, el contexto sociocultural en el que se desarrolla el niño, etc). La medida en qué afecta cada variable a la persona sigue siendo, además de una incógnita un tema muy controvertido. Donde si existe un consenso, es en la idea de que estos dos factores son inseparables (Oakley, 2004). Según un estudio realizado por McCormick et al. (2020) un clima de apoyo y de cariño durante la infancia es una de las variables más influyentes en el desarrollo cognitivo durante la niñez. También una dieta de calidad promueve un mayor desarrollo de estas capacidades (McCormick et al., 2020).

“El desarrollo madurativo del cerebro humano es un proceso organizado, predeterminado y dinámico” como exponen Fiorentini y Guinjoan (2019). Este proceso se extiende desde la gestación hasta la pubertad, donde se producen los cambios más drásticos debido a la transición hacia la adultez. La evolución de las habilidades cognitivas acompaña el desarrollo madurativo cerebral y se observa un devenir de estas funciones durante el envejecimiento normal saludable (Fiorentini y Guinjoan, 2019). Sin embargo, el cerebro es un músculo, y como todos ellos, existe la posibilidad de entrenarlo con el objetivo de sacar su máximo rendimiento y paliar los efectos que el envejecimiento puede tener sobre el mismo, esto se conoce como estimulación cognitiva.

El proceso de evolución de las habilidades cognitivas difiere en cada persona, por esta razón existe heterogeneidad y unicidad mental. Asimismo, el declive natural que experimentan estas habilidades durante la última etapa de vida no se produce de manera uniforme en toda la población ni en todas las estructuras encefálicas. Esta involución

deriva de cambios a nivel estructural. Alcanza su mayor tamaño sobre los 20 años y a partir de los 40-50 comienza a disminuir y con el, estructuras internas, como el hipocampo, la sustancia blanca, los lóbulos frontales y temporales, entre otras. Esto implica alteraciones en algunas capacidades a nivel cognitivo que tienen como base biológica estas áreas, véase la atención o la memoria (Fiorentini y Guinjoan, 2019).

De la misma manera que las funciones cognitivas están interrelacionadas entre sí, también se interrelacionan con otros dominios del organismo como el comportamiento, las emociones o incluso dolencias físicas. Es común en rehabilitación cognitiva, observar una gran repercusión de factores cognitivos en el ámbito emocional (Sohlberg y Mateer, 1989).

La inteligencia es considerada la capacidad más importante del ser humano, permite articular un razonamiento complejo y una mejor adaptación al entorno. Se desarrolla de manera progresiva a lo largo del tiempo a medida que el individuo interactúa con el medio y sus capacidades cognitivas evolucionan. La corteza prefrontal es la principal responsable de realizar operaciones complejas en el cerebro humano. La inteligencia en los seres humanos se mide por medio del coeficiente intelectual (CI). No exento de críticas, este concepto trata de evaluar de la manera más objetiva posible la capacidad de las personas de solucionar problemas complejos por medio de la lógica y compararlo a través de unos parámetros con el resto de la población. La inteligencia en sí misma es un concepto muy controvertido por no existir consenso en su definición, que puede variar en función de la cultura u otros factores (Lira y Custodio 2018). Al ser fruto de los dominios cognitivos del organismo, la inteligencia se compone, de una relación entre la naturaleza heredada y la adquisición de conocimientos y habilidades por medio de la experiencia (Lira y Custodio 2018). Por esta razón, es imprescindible estimular cognitivamente al sujeto para que logre desarrollar esta capacidad.

En el s. XX comienzan a desarrollarse las primeras teorías científicas de la inteligencia. Las más destacables a lo largo de la historia han sido la de Binet, quien desarrolló el primer test de inteligencia; Según Gardner (1983) existen varias inteligencias, explicadas en la teoría de las Múltiples inteligencias; Destaca también en este enfoque Spearman y su teoría de factores; Partiendo de los supuestos de este último, nace, en EEUU de la mano de Thurston (1938) y Guilford (1967) una corriente que

entiende la inteligencia como una serie de componentes básicos interrelacionados; Por otro lado, destaca la inteligencia fluida y cristalizada de Catell (1963); Por último, la teoría triárquica de la inteligencia de Sternberg (1985).

Clasificación de las funciones cognitivas

Los dominios cognitivos trabajan la mayor parte del tiempo de manera coordinada, incluso se pueden llegar a solapar. Esto se debe a que los neurocircuitos cerebrales subyacentes a algunas funciones cognitivas son compartidos, como por ejemplo conducir un coche es una actividad que requiere habilidades visoespaciales y atención de manera simultánea; otro claro ejemplo es, como a causa del desarrollo de lenguaje, la capacidad mnésica alcanza su máximo crecimiento (Sohlberg y Mateer, 1989).

Las habilidades cognitivas abarcan la atención, la memoria, las funciones ejecutivas (FE), el lenguaje, las habilidades visoespaciales, las gnosias, las praxias, la orientación y la cognición social. La literatura pone especial énfasis en los procesos cognitivos de memoria, atención y FE. Es posible que la razón sea porque su deterioro suele tener un efecto devastador sobre la vida cotidiana de las personas. Se ha demostrado que la atención, la memoria, y las FE son especialmente vulnerables en caso de lesiones cerebrales (Sohlberg y Mateer, 1989). El funcionamiento de estas capacidades es regulado por en el lóbulo anterior temporal y el lóbulo frontal. Lesiones en el lóbulo anterior temporal, estructuras responsables del aprendizaje y de los recuerdos, puede desembocar en pérdidas de memoria. Por el contrario, lesiones en el lóbulo frontal puede ocasionar dificultades en las FE (Machado et al., 2008).

La atención. Este dominio cognitivo es un proceso mental complejo que permite seleccionar estímulos tanto externos como internos y dirigir los recursos mentales hacia ellos. La atención está involucrada en la mayoría de los procesos cognitivos (Fiorentini y Guinjoan, 2019).

En un intento por integrar todas las teorías acerca de la atención, surge el modelo atencional de Posner y Petersen. Esta teoría expone que la atención tiene variedad de manifestaciones interrelacionadas entre sí que se deben a la existencia de tres redes atencionales (las cuales dan parte a funciones atencionales distintas): *la Red Atencional*

Posterior o de Orientación, que consiste en dirigir la atención hacia un estímulo relevante, ya sea por sus propiedades o por su tortuosa entrada en el campo visual; *La Red de Vigilancia o Alerta* que está relacionada con el *arousal* o nivel de excitación cortical, gracias al cual, es posible mantener un estado que permita reaccionar a estímulos de manera rápida. Sorprendentemente, existen evidencias que relacionan el estado de alerta con menor precisión y eficacia para responder a los estímulos correspondientes (Posner, Klein, Summers y Buggie, 1973). Por último, *la Red Anterior o de Control Ejecutivo*, la cual es responsable de ejercer un control voluntario sobre la atención en situaciones más complejas tales como planificar o solucionar un conflicto estimular (Funes y Lupiáñez, 2003).

La memoria. La memoria es la capacidad de recuperar información almacenada. Está íntimamente relacionada con el aprendizaje (proceso por el cual los seres vivos adquirimos conocimientos sobre el mundo). De esta manera, el ser humano es capaz de recordar y por lo tanto, prepararse para reaccionar frente a estímulos ya aprendidos con anterioridad. Tanto el proceso de memoria como el de aprendizaje se modifican por medio de la experiencia (Machado et al., 2008).

Los mecanismos subyacentes implicados en el proceso de adquisición y consolidación de la memoria no están claros, sin embargo, los expertos coinciden en la existencia de una secuencia procedimental que consiste en dirigir la atención hacia un estímulo (interno o externo), codificar la información, almacenarla y posteriormente recuperarla o evocarla. El proceso por el cual la información se almacena después de la adquisición se llama *retención*, y puede ser de larga o de corta duración. La memoria de corta duración se extiende a segundos, minutos u horas, mientras que la de larga duración refiere a un intervalo igual o superior a días (Machado et al., 2008).

A pesar de no haber consenso acerca de los diferentes tipos de memoria existentes, investigaciones recientes clasifican las memorias de largo plazo en declarativa (o explícita) y no declarativa (o implícita). La memoria declarativa es aquella que habilita a la persona a evocar de manera consciente y voluntaria información objetiva, episodios de la vida o datos almacenados. Esta información tiende a ser de fácil adquisición y de fácil olvido. Las áreas cerebrales responsables del sistema de memoria declarativa se encuentran en los lóbulos temporales, sin embargo, existe una conexión con los lóbulos

frontales. La memoria declarativa se puede clasificar en semántica (conocimientos generales del mundo) o episódica (eventos concretos personales), esta última es la más vulnerable al envejecimiento (Fiorentini y Guinjoan, 2019). Por otro lado, la memoria no declarativa (también conocida como “procedimental”) alude al recuerdo de aprendizajes motores, hábitos e información que se evoca de manera no consciente y que se activa de forma automática. Las áreas cerebrales responsables del sistema de memoria no declarativa son el núcleo caudado (que junto a otras estructuras conforman el cuerpo estriado, elemento vinculado al movimiento) y el cerebelo (cuya función es integrar las vías sensitivas y las motoras). También intervienen, aunque con menos frecuencia, los lóbulos temporales (Machado et al., 2008).

Las funciones ejecutivas. Son las funciones más complejas del cerebro. Comprende la planificación, programación, control de la atención, anticipación, flexibilidad mental, autoregulación de la conducta, entre otras. Las FE hacen posible al ser humano alcanzar metas y adaptarse al entorno de manera independiente, autosuficiente, intencional y autodirigida (Fiorentini y Guinjoan, 2019).

Los lóbulos frontales son las estructuras responsables de las FE. (Ríos-Flórez et al., 2019). Respecto al desarrollo de estas capacidades, presentan un crecimiento acelerado durante la niñez y la adolescencia. Al igual que los demás dominios cognitivos, las FE se desarrollan de manera no lineal, atravesando etapas de aceleración asociados a cambios estructurales y funcionales del sistema nervioso central, y en concreto de la corteza prefrontal. Las FE son las capacidades cognitivas que más tardan en desarrollarse debido a que las estructuras responsables de las mismas continúan su evolución hasta la tercera edad (Fiorentini y Guinjoan, 2019).

Efectos del ciclo sueño-vigilia sobre el rendimiento cognitivo en adultos

Las investigaciones demuestran una relación entre el ritmo circadiano de sueño-vigilia y la consolidación de las habilidades cognitivas. Dormir es necesario para un desempeño cognitivo óptimo tanto en adultos como en niños sanos. A pesar de tener claras evidencias acerca de la relación positiva entre dormir y las capacidades cognitivas, poco se sabe de su implicación en las mismas a nivel individual. Se pueden observar efectos positivos sobre el estado de alerta, la memoria y el coeficiente intelectual (CI) entre otras muchas

capacidades, tras el estado de sueño. También se han observado alteraciones en las funciones cognitivas asociadas a la exposición artificial de luz por la noche en la vida moderna, que alteran los ritmos circadianos del organismo (Lira y Custodio, 2018). Por otro lado, existen evidencias acerca de la importancia de la calidad del sueño y la repercusión de este sobre las funciones cognitivas. La calidad del sueño puede variar mucho en función de diferentes factores y no es igual de un día para otro.

Se relaciona un aumento de la inteligencia (CI) durante la adolescencia, con el crecimiento del ritmo sigma asociado a la maduración cerebral. De esta manera, se puede deducir, que la maduración de la actividad sigma es un indicador de un mejor desarrollo cognitivo. Esta relación se vuelve más fuerte con la edad (Bestmann, et al. 2019).

Implicación del sueño en la atención

El trastorno de déficit atencional (TDAH) es un desorden del neurodesarrollo caracterizado principalmente por una atención deficiente, hiperactividad e impulsividad que predomina en niños escolares. Es uno de los cuadros clínicos que más preocupa por sus consecuencias negativas a nivel académico y conductual (Bartolotti, 2007).

Bestmann et al. (2019), desarrollan un estudio que investiga el efecto que tiene el estado de sueño en la fase II sobre las capacidades cognitivas, partiendo de la base de que, según estudios previos, este efecto es menor en niños que padecen trastornos atencionales en comparación con niños sanos. No se encontraron diferencias significativas en la actividad sigma ni en los patrones de sueño entre niños con TDAH y niños sanos, así como en adultos con o sin TDAH, la actividad oscilatoria fue normal en todos los participantes. Sin embargo, se observa una asociación positiva entre poder sigma durante el sueño y rendimiento intelectual en las posiciones central y parietal del EEG en adultos sanos mientras que en niños sanos esa asociación positiva solo se observa sobre la corteza parietal izquierda. Estos datos indican que el proceso de maduración de las oscilaciones cerebrales se completa en primero lugar sobre la corteza parietal. También se ha comprobado que la corteza parietal es una de las primeras áreas cerebrales en madurar durante la pubertad. Por el contrario, los sujetos que padecen TDAH no presentan tal correlación, incluso se ha descubierto una correlación negativa entre el poder sigma y el CI sobre la corteza parietal izquierda. Estos hallazgos indican una

alteración de la maduración cerebral que afecta a la relación entre el sueño y el desempeño intelectual. Por lo tanto, la existencia de diferencias a nivel cognitivo se debe a que las conectividades cerebrales en sujetos con este déficit se encuentran perturbadas. Puesto que el TDAH es un trastorno del neurodesarrollo, estos descubrimientos indican una maduración cerebral que difiere de la norma y que no se beneficia de la relación sueño-rendimiento cognitivo. Se ha observado también, que los tiempos de reacción en los niños con TDAH son mayores a los de los demás grupos (Bestmann, et al., 2019).

Otro hallazgo interesante es que los niños con TDAH mostraron una actividad sigma en el EEG principalmente en las posiciones frontal y central, muy similares a las asociadas al rendimiento motor en adultos sanos. Los adultos presentan una corteza motora más desarrollada y la semejanza con sujetos que padecen este trastorno sugiere una maduración temprana de la corteza motora en el TDAH. Sin embargo, esto es simplemente una especulación ya que se ha visto que las puntuaciones de los sujetos que padecen este trastorno en pruebas de alerta son menores, y esto no puede ser explicado por medio de la anterior suposición (Bestmann, et al., 2019).

Un estudio realizado desde 1995 hasta 2006 que investigaba la etiología del TDAH muestra una correlación positiva entre este déficit y una alteración neuronal durante el sueño. Posteriormente, estos sujetos son tratados con psicofármacos que mejoran la calidad del sueño y se observa una notable mejoría en sus habilidades atencionales (Bartolotti, 2007).

La atención es un dominio cognitivo del que depende la memoria, por esta razón juega un papel protagonista en el desempeño cognitivo. A partir de los 6 meses de edad, el sistema atencional comienza a desarrollarse. La memoria a corto plazo depende en gran medida del sistema atencional, puesto que coordina hacia donde se dirige la atención y su intensidad, variables que afectan tanto a la retención como al contenido de la información (Dzib-Goodin, Sanders, y Yelizarov, 2017). Niños que presentan TDAH tienden a presentar también dificultades de memoria y de aprendizaje (Bestmann, et al. 2019).

Implicación del sueño en la memoria

Dormir es un proceso que cumple con numerosas funciones, sin embargo, destaca su papel protagonista en el proceso de consolidación de la memoria. Fue Ebbinghaus (1885)

el primero en defender la idea de que durante el sueño se da un proceso de consolidación activa de la memoria. La información nueva se almacena en el cerebro de manera temporal, este almacén corresponde a la memoria a corto plazo (situado en el hipocampo) y esta información se redistribuye de manera selectiva, facilitando así la creación de nuevos recuerdos. Una parte de la información se olvida y otra se almacena en la red neuronal responsable de la memoria a largo plazo (neocorteza) de manera que en un futuro sea posible evocar estos datos (Born y Wilhelm, 2012). El proceso de consolidación de la memoria depende de dos fases del sueño, el sueño No MOR, que favorece a la memoria declarativa; un estudio reciente sugiere que tiene relación con la cantidad de husos del sueño en la fase II; y el sueño MOR que favorece a la memoria procedimental (Carrillo-Mora, et al., 2013).

Según el modelo estándar de memoria de dos etapas, los aprendizajes adquiridos durante el estado de vigilia son codificados en paralelo por dos estructuras, el hipocampo y en el neocorteza. Los recuerdos episódicos o eventuales se almacenan en el hipocampo y son reactivados repetidamente durante el sueño para ser almacenados en la neocorteza, responsable de retener estos datos durante largos períodos de tiempo. Este proceso de reactivación y redistribución de información es una especie de diálogo entre las dos estructuras mencionadas anteriormente, y el tálamo cortical, donde se generan los husos del sueño talamocorticales. Es importante tener en cuenta que este sistema no es exacto, y es posible que la información reactivada sufra cambios (Born y Wilhelm, 2012).

La consolidación de la memoria y, por consiguiente, la creación de recuerdos a largo plazo permite a la persona establecer el estado de conciencia e identidad durante la vigilia. Además, se ha observado una dificultad a nivel neuronal de ejecutar la consolidación de la memoria durante el estado de conciencia. Es posible reactivar recuerdos durante la vigilia, sin embargo, aumenta el riesgo de alteraciones debido a la cantidad de interferencias externas (Born y Wilhelm, 2012).

La memoria de trabajo tiene un papel protagonista en las habilidades cognitivas (Cárcamo, 2018). Es un tipo de memoria de corto plazo que permite mantener la información activa temporalmente mientras se utiliza para desarrollar otras tareas. Las estructuras subyacentes responsables de la memoria de trabajo son los lóbulos prefrontales. La literatura pone especial énfasis en esta capacidad, por considerarse la

“principal responsable” de los déficits cognitivos asociados a la vejez (Fiorentini y Guinjoan, 2019).

Estrechamente ligado a la memoria está el aprendizaje. Según Campos (2011), el aprendizaje es “un proceso relacionado con los cambios que ocurren en un individuo a nivel neuronal, cognitivo y conductual, como resultado de las experiencias permitiendo su adaptación al entorno” (Aguilar et al., 2017, p. 133). El cerebro humano presenta la cualidad de la plasticidad, que le permite modificarse y generar nuevos circuitos neuronales como resultado de la experiencia. Almacenar información es vital para el aprendizaje ya que sino sería imposible darle sentido a esta experiencia. El sueño favorece no solo a la consolidación de los aprendizajes adquiridos previamente sino también facilita la adquisición de nuevos aprendizajes posteriores. Como resultado de la falta de sueño, se puede observar una peor retención de información. Por otro lado, existen evidencias científicas acerca de la importancia del sueño en el aprendizaje de procedimientos (memoria procedimental) y el impacto en el desarrollo de actividades motoras (Walker et al., 2003).

Implicación del sueño en las funciones ejecutivas

Un estudio realizado por Moo, Valencia, Ulloa, Ostrosky y Reyes (2011), pone de manifiesto la relación entre las FE y el sueño en niños con depresión. Se observa problemas de sueño en estos sujetos, así como déficits cognitivos. Las posibles alteraciones en dichas funciones cognitivas pueden ser explicadas en función del neurodesarrollo. Las áreas prefrontales, mando de control de las FE, completan su desarrollo en la edad adulta mientras que las funciones del sueño y los ritmos circadianos se consolidan en la infancia. La depresión puede acarrear dificultades de consolidación de los ritmos circadianos, y de estar manera afectar negativamente a las capacidades cognitivas.

En un estudio realizado por Puerta-Guzmán y Barrera-Valencia (2017) se realiza una comparación entre trabajadores de turnos rotativos y trabajadores de turnos fijos mediante las pruebas Stroop (instrumento utilizado para evaluar -mezclando elementos y colores- la flexibilidad cognitiva, la resistencia a la interferencia y la capacidad de inhibición de respuestas automática) y Wisconsin (utilizada fundamentalmente para evaluar la

flexibilidad cognitiva del evaluado en base a cambios inesperados). A pesar de que no se observan diferencias significativas entre ambos grupos en lo que refiere a las FE, en la prueba de Stroop, aquellos trabajadores de turno rotativo presentan menor resistencia a la interferencia que aquellos de turno fijo. Por otro lado, se observa un ligero peor desempeño en la prueba Wisconsin en los empleados de turno rotativo. Posiblemente, la razón por la cual estas diferencias no sean significativas sea que las FE no son un sistema unitario, sino que es un sistema de procesamiento múltiple de alta complejidad en el cual se integran numerosas operaciones cognitivas, por lo que las compensaciones ante la falta de sueño son más sencillas. Por otro lado, estos resultados no son concluyentes puesto que las pruebas de Wisconsin y el Test de Stroop únicamente evalúan una parte de la corteza frontal.

Se ha observado una correlación positiva entre el tiempo total del sueño y la calidad de este en relación con las FE, dando como resultado mayores puntuaciones en rendimiento cognitivo. Las FE principalmente implicadas son el control visomotor y de impulsos, identificar la relación riesgo-beneficio y la memoria de trabajo (Moo, et al., 2011).

Discusión

El objetivo del presente estudio es explorar la importancia de los ritmos circadianos y explicar su labor e influencia en las funciones cognitivas más importantes (memoria, atención y funciones ejecutivas) y en el CI. Los resultados de esta revisión ponen de manifiesto que hay una asociación entre el funcionamiento de los ritmos circadianos y el rendimiento cognitivo. Existe una implicación directa del ciclo sueño-vigilia en las funciones cognitivas superiores, siendo el proceso de consolidación de la memoria, el más representativo.

El sueño es un fenómeno fisiológico vital que permite que el organismo mantenga un equilibrio interno y funcionamiento óptimo. No se tiene una idea clara de por qué se duerme y es posible que existan varias respuestas a esta pregunta. Se sabe que el proceso del sueño cumple varias funciones, principalmente restablecer o conservar energía, consolidar la memoria y actuar sobre el aprendizaje. El ciclo de sueño-vigilia está regulado por el sistema circadiano, que es a su vez, regulado principalmente por la luz

ambiental, de esta manera en circunstancias normales se fomenta la vigilia durante las horas luminosas y el sueño durante la fase de oscuridad. Diversos estudios destacan el indispensable papel del sueño en el proceso de consolidación de la memoria. El sueño MOR influye sobre la memoria procedimental y NMOR sobre la memoria declarativa. En un estudio realizado por Bestmann et al. (2019) se observa una correlación positiva entre los husos del sueño en adultos sanos y el CI en las posiciones del EEG central/parietal. Estos resultados sugieren que existe una asociación entre el sueño, en concreto entre el poder sigma, y el rendimiento cognitivo, que se hace más fuerte a medida que avanza el proceso madurativo del cerebro. Sin embargo, no solo confirmamos aumentos relacionados con la edad en la actividad sigma y el rendimiento del CI, sino que también sugerimos una mayor asociación entre la edad y el rendimiento. El fenómeno de consolidación de memoria, que permite la creación de nuevos aprendizajes implica a otras capacidades como la atención o las funciones ejecutivas, que también se benefician del estado de sueño (Bestmann et al., 2019). A pesar de haber notificado un creciente avance científico en el campo, la implicación del sueño en la memoria es aún una cuestión que suscita muchas dudas y contradicciones, por ejemplo “¿A dónde va toda esa información que no es seleccionada para retener?” (Born y Wilhelm, 2012). Por otro lado, sorprende la idea de que no existe una relación entre la duración del sueño y la consolidación de la información en la memoria, se ha demostrado que incluso siestas de corta duración tienen un efecto positivo sobre la retención de la memoria. Otros estudios muestran el efecto que tiene el tiempo de intervalo entre el aprendizaje y el sueño, siendo más favorables intervalos cortos (de 3 horas preferiblemente) a intervalos largos (Carrillo-Mora, et al., 2013).

Los efectos de la privación del sueño sobre los distintos dominios cognitivos están más que demostrados. En primer lugar, hay distintos tipos de pérdida del sueño: desde la suspensión del sueño total por un periodo mayor a 24 horas; la restricción del sueño, que supone una reducción del tiempo de sueño habitual de manera crónica; y la fragmentación del sueño, que refiere a una interrupción repetida del estado de sueño. Las principales consecuencias de afectación a nivel cognitivo por la privación del sueño son la atención sostenida intencional, el enlentecimiento cognitivo, el tiempo de reacción se prolonga, la memoria de corto plazo y la memoria de trabajo disminuye, dificulta el aprendizaje, toma de decisiones más arriesgadas, mal desempeño en tareas de largo duración, alteración en

la capacidad de juicio crítico, disminuye la capacidad de flexibilidad cognitiva, alteraciones emocionales, dificultad en tareas de vigilancia, fatiga, etc. (Carrillo-Mora, et al., 2013). El sueño insuficiente o de mala calidad puede ocasionar no solo problemas físicos como obesidad o diabetes (Carrillo-Mora, et al., 2013), también problemas psicológicos como depresión (Soria y Urretavizcaya, 2009) o incluso funcionando como factor desencadenante para la desregulación afectiva en el trastorno bipolar (Harvey, 2008). La capacidad cognitiva también se ha visto afectada por dichas alteraciones (Ríos-Flórez et al., 2019). Sin embargo, no existe consenso acerca de en que medida se ve afectado cada factor (Suardiaz-Muro, Morante-Ruiz, Ortega-Moreno, Martín-Plasencia, y Vela-Bueno, 2010). Es importante tener en consideración el cronotipo, ya que está relacionado con el ritmo circadiano de sueño-vigilia y el rendimiento cognitivo. Estudios ponen de manifiesto un peor rendimiento académico, así como más problemas de salud en sujetos vespertinos, sin embargo, los resultados no son concordantes. La hora de acostarse parece influir sobre el rendimiento académico, pero en cuanto a la hora de despertar no se ha encontrado evidencias suficientes (Suardiaz-Muro et al., 2010). Un estudio realizado por los hermanos Quevedo-Blasco (2011) busca diferencias significativas en el rendimiento académico en jóvenes en función de su grado de somnolencia y cantidad y calidad del sueño. Los resultados muestran una influencia significativa de los patrones de sueño, favoreciendo a aquellos sujetos con un patrón de sueño medio en relación con las calificaciones, que aquellos poseen un patrón de sueño largo o corto (Quevedo-Blasco, V., y Quevedo-Blasco, R., 2011). Los trastornos de sueño se observan con más frecuencia en la edad adulta, sin embargo, se pone el foco en los jóvenes y niños, por su implicación sobre los procesos de memoria y aprendizaje, y el rendimiento escolar (Carrillo-Mora, et al., 2013).

Conclusión

El sueño es necesario para un desempeño cognitivo óptimo sin embargo no se le ha brindado la debida importancia. El sueño, aunque breve, tiene una influencia positiva en el estado de salud y calidad de vida en las personas, así como una directa implicación en el rendimiento cognitivo y por consiguiente, en el CI. Las investigaciones ponen de manifiesto el indispensable papel del sueño en el proceso de consolidación de la memoria. El sueño habilita la retención de información a largo plazo, así como la creación de nuevos recuerdos, de manera que está directamente relacionada con el aprendizaje. La

atención también esta involucrada en el sueño, se ha descubierto que sujetos que padecen TDAH presentan alteraciones en el EEG en la fase II del mismo. También destaca su papel sobre las funciones ejecutivas. La exposición a la luz artificial, los turnos rotativos y las alteraciones en los ciclos de sueño-vigilia provocan un desequilibrio en los ritmos circadianos que desemboca en un peor desempeño cognitivo. Por último, destacar la importancia de fomentar y continuar con la investigación en el campo, de manera que se explore más a fondo las funciones del ciclo sueño-vigilia y su relación con el rendimiento cognitivo. Además, es necesario concienciar y educar a la población, y en especial a los estudiantes, acerca de la importancia de encontrar un equilibrio con los ritmos circadianos promoviendo los mejores niveles de rendimiento cognitivo en base a una la higiene del sueño.

Bibliografía

- Aguilar, L. A., Caballero, S., Ormea, V., Salazar, G., Loayza, L. y Muñoz, A. (2017). La importancia del sueño en el aprendizaje: visos desde la perspectiva de la neurociencia. *Avances en psicología*, 25(2), 129-136.
- Aguirre, R. (2013). Cambios fisiológicos en el sueño. *Revista ecuatoriana de neurología*, 22(1-3), 60-66.
- Antúnez, J. M., Navarro, J. F., Adan, A. (2014). Tipología circadiana y problemas de salud mental. *Anales de psicología*, 30 (3), 971-984.
- Aschoff, J. (1976). Circadian systems in man and their implications. *Hospital Practice*, 11(5), 51-97.
- Bartolotti, E. (2007). El síndrome de Déficit atencional del escolar como expresión clínica de los trastornos del sueño de tipo comicial. *Cuadernos de neuropsicología*, 1 (1), 18-29.
- Bauzano-Poley, E. (2003). El insomnio en la infancia. *Revista de neurología*, 36(4), 381-390.
- Bestmann, A., Conzelmann, A., Baving L. y Prehn-Kristensen, A. (2019). Associations between cognitive performance and sigma power during sleep in children with attention-deficit/hyperactivity disorder, healthy children, and healthy adults. *PLoS ONE* 14(10).
- Born, J. y Wilhelm, I. (2012). System consolidation of memory during sleep. *Psychological Research*, 76, 192-203.
- Cárcamo, B. (2018). Modelos de la Memoria de Trabajo de Baddeley y Cowan: una revisión bibliográfica comparativa. *Revista Chilena de Neuropsicología*, 13(1), 06-10.

- Carrillo-Mora, P., Ramírez-Peris, J. y Magaña-Vázquez, K. (2013). Neurobiología del sueño y su importancia: antología para el estudiante universitario. *Revista de la Facultad de Medicina Universidad Nacional Autónoma de México*, 56(4), 5-15. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0026-17422013000400002
- Correa, G. I., Otárola, F. y Del Lago, J. (2000). Electromiografía Laríngea. *Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello*, 60, 91-98.
- Díaz-Negrillo A. (2013). Bases bioquímicas implicadas en la regulación del sueño. *Archivos de Neurociencias*, 18(1), 42-50.
- Dzib-Goodin, A., Sanders, L. y Yelizarov, D. (2017). Sistemas neuro-moleculares necesarios para el proceso de memoria. *Cuadernos de Neuropsicología*, 11(1), 84-97. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=iDKDAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=cognitive+development&ots=gD81-Qilro&sig=kLEn0bH5GtQW3-hyvWVGrN-XNXc#v=onepage&q=cognitive%20development&f=false>
- Fiorentini, L. y Guinjoan, S. (2019). Desarrollo y evolución de las funciones cognitivas. *Acta psiquiátrica y psicológica de América Latina*, 65(4), 238-248.
- Funes, M^a J. y Lupiáñez, J. (2003) La teoría atencional de Posner: una tarea para medir las funciones atencionales de Orientación, Alerta y Control Cognitivo y la interacción entre ellas. *Psicothema*, 15(2), 260-266.
- Harvey, G. A. (2008). Sueño y ritmos circadianos en el trastorno bipolar: sincronía, armonía y regulación. *American Journal of Psychiatry*, 11(9), 820-829.
- Lira, D. y Custodio, N. (2018). Los trastornos del sueño y su compleja relación con las funciones cognitivas. *Revista de Neuropsiquiatría*, 81(1), 20-26.
- Lucas, A., Martínez, A., Escames, G. & da Costa, J. (2012). Envejecimiento del sistema circadiano. *Revista Española de Geriatria y Gerontología*, 47(2), 76-80.
- Machado, S., Portella, C.E., Silva J.G., Velasques B., Bastos V.H., Cunha, M., Basile, L., Cagy, M., Piedade, R.A. y Ribeiro, P. (2008). Aprendizaje y memoria implícita: mecanismos y neuroplasticidad. *Revista de neurología*, 46 (9), 543-549.
- McCormick, B. J. et al. (2020). Early Life Experiences and Trajectories of Cognitive Development. *Pediatrics*, 146(3).
- Moo, J. A., Valencia, M., Ulloa, R.E, Ostrosky, F. y Reyes, I. (2011). Estructura del sueño y funciones ejecutivas en niños con depresión. *Salud Mental*, 34(5), 459-468.
- Mulsow, G. G., (2008). Desarrollo emocional: impacto en el desarrollo humano. *Revista Educação*, 31 (1), 61-65. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/848/84806409.pdf>
- Oakley, L. (2004). *Cognitive development*. New York, EEUU: Routledge.

- Posner, M. I., Klein, R., Summers, J. y Buggie, S. (1973). On the selection of signals. *Memory & Cognition*, 1(1), 2-12.
- Puerta-Guzmán, N. y Barrera-Valencia, M. (2017). Trabajar en turnos rotativos semanales no produce alteraciones en las funciones cognitivas superiores. *Revista de Psicología Universidad de Antioquia*, 9(1) 59-74.
- Quevedo-Blasco, V., y Quevedo-Blasco, R. (2011). Influencia del grado de somnolencia, cantidad y calidad de sueño sobre el rendimiento académico en adolescente. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 11(1), 49-65.
- Ramírez, M., Ramírez, M^a. J., Martínez, J. M., Prieto, I., Sánchez, B. y Alba, F. (1998). Neuroendocrinología de los ritmos circadianos. *Seminario Médico*, 50 (1), 17-30.
- Ríos-Florez, J., López-Gutiérrez, C. y Escudero-Corrales, C. (2019). Cronobiología del sueño y su influencia en la función cerebral. *Cuadernos de neuropsicología. Panamerican Journal of Neuropsychology*, 13(1), 12-33.
- Rodríguez, M. B. (2017). Influencia de los ritmos circadianos en tareas de vigilancia (Tesis doctoral con mención internacional). Universidad de Granada, Granada.
- Seelke, A., Karlsson, K. Æ., Gall, A. J. y Blumberg, M. S. (2005). Extraocular muscle activity, rapid eye movements and the development of active and quiet sleep. *European Journal of Neuroscience*, 22, 911-920.
- Sohlberg, M. M. y Mateer, C.A. (1989) Introduction to Cognitive Rehabilitation. New York: Guilford.
- Soria, V. y Urretavizcaya, M. (2009). Ritmos circadianos y depresión. *Actas Españolas de Psiquiatría*, 37 (4), 222-232.
- Stelzer, F. y Cervigni, A. M. (2011). Desempeño académico y funciones ejecutivas en infancia y adolescencia. Una revisión de la literatura. *Revista de Investigación en Educación*, 9 (1), 148-156.
- Suardiaz-Muro, M., Morante-Ruiz, M., Ortega-Moreno, M., Martín-Plasencia, P. y Vela-Bueno, A. (2010). Sueño y rendimiento académico en estudiantes universitarios: revisión sistemática. *Revista de Neurología*. 71(2) 43-53. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7500330>
- Velayos, J. L., Molerés, F. J., Irujo, A. M., Yllanes, D., y Paternain, B. (2007). Bases anatómicas del sueño. *Anales del Sistema Sanitario de Navarra*, 30 (1), 7-17. Recuperado de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272007000200002&lng=es&tlng=es.
- Walker, M., Brakefield, T., Seidman, J., Morgan, A., Hobson, J. y Stickgold, R. (2003). Sleep and the time course of motor skill learning. *Learning Memory*, 10(4), 275-284.