



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

LA NEUROCIENCIA COGNITIVA DEL
IMPACTO DE LA CALIDAD DEL SUEÑO
SOBRE EL APRENDIZAJE

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN
PSICOLOGÍA CLÍNICA

GERALDINE ZIDAE SALAZAR VARGAS

LIMA – PERÚ

2025

ASESOR

DR. ROBERTO BUENO CUADRA

JURADO DE TESIS

DR. CARLOS ALBERTO LOPEZ VILLAVICENCIO

PRESIDENTE

DR. DAVID HILARIO JÁUREGUI CAMASCA

VOCAL

DR. GIANCARLO OJEDA MERCADO

SECRETARIO

DEDICATORIA.

A Dios, mi creador y eterno compañero, quien me bendice con el regalo de una vida plena y maravillosa. Tu amor y guía iluminan cada paso de mi camino.

A mis queridos padres, Hugo y Otilia, quienes siempre me sostienen y protegen en cada etapa de mi vida. Su amor incondicional es mi refugio y mi mayor inspiración.

A mis amados hermanos, Francy, Carol y Christian, quienes con su ejemplo y amor me brindan siempre paz y tranquilidad. Su presencia en mi vida es un verdadero regalo.

A mi querido cuñado José Luis y a mi preciosa sobrina Kristina, quienes siempre me brindan la oportunidad de disfrutar y saborear la vida. Su alegría y amor llenan mis días de felicidad.

A mi querido esposo Yeremy, porque gracias a ti, mis sueños no conocen límites. Tu apoyo y amor me inspiran a alcanzar cada uno de ellos.

A mis amados hijos, Santiago y Olenka, su existencia ilumina mis días y me recuerda que la verdadera felicidad es un regalo divino.

AGRADECIMIENTOS.

A la Dra. Dany Araujo,
por su invaluable apoyo y sabios consejos, que me inspiran a crecer
constantemente en mi desarrollo profesional.

A la Dra. Estela Montenegro,
por su confianza y apoyo, que me han ayudado a crecer en mi carrera profesional.
Gracias a su orientación, he podido seguir adelante y comprometerme aún más
con mi vocación.

A mis estimados amigos y colegas de la Facultad de Psicología,
por su constante apoyo y cariño. Su compañía ha enriquecido mi experiencia y me
ha inspirado a avanzar en mi camino profesional

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Tesis Autofinanciada.

DECLARACIÓN DE AUTOR			
FECHA	30	ENERO	2025
APELLIDOS Y NOMBRES DEL EGRESADO	SALAZAR VARGAS, GERALDINE ZIDAE		
PROGRAMA DE POSGRADO	DOCTORADO EN PSICOLOGÍA		
AÑO DE INICIO DE LOS ESTUDIOS	2012		
TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE GRADO	“LA NEUROCIENCIA COGNITIVA DEL IMPACTO DE LA CALIDAD DEL SUEÑO SOBRE EL APRENDIZAJE”		
MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO	TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN PSICOLOGÍA CLÍNICA		
Declaración del Autor			
<p>El presente Trabajo de Grado es original y no es el resultado de un trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.</p>			
Teléfono de contacto (fijo / móvil)	984216480		
E-mail	<u>Geraldine.salazar@upch.pe</u>		



Firma del Egresado
DNI 10622627

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN
ABSTRACT

I.	INTRODUCCIÓN	2
II.	OBJETIVOS	3
III.	DESARROLLO DE ARTÍCULOS	7
IV.	DISCUSIONES	14
V.	CONCLUSIONES	36
VI.	RECOMENDACIONES (opcional)	36
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38
VIII.	ANEXOS	1

LA NEUROCIENCIA COGNITIVA DEL IMPACTO DE LA CALIDAD DEL SUEÑO SOBRE EL APRENDIZAJE

RESUMEN

El presente trabajo se realiza bajo el sistema de Modalidad de desarrollo temático de dos artículos de investigación previamente publicados en revistas por la autora. En el artículo Breves conceptos del aprendizaje en Neurociencias, se busca de alguna manera proporcionar una base neurocientífica para comprender mejor los procesos de aprendizaje y memoria, y cómo estos pueden ser aplicados en el ámbito psicoeducativo, para mejorar las estrategias de enseñanza-aprendizaje y el desarrollo de habilidades en los estudiantes. Sobre el artículo La importancia del sueño en el aprendizaje: Visos desde la perspectiva de la neurociencia, contribuye a una mejor comprensión de cómo el sueño influye en diversos procesos cognitivos y fisiológicos, principalmente en el aprendizaje y a memoria, desde una perspectiva neurocientífica y extensiva hasta la mirada psicológica. A continuación, en la parte central del trabajo, se desarrolla de manera extensa aspectos de la relación entre la calidad del sueño, enfocada fundamentalmente como duración total del sueño, y la memoria y aprendizaje; así como los fundamentos neurológicos de dicha relación. El sueño es una función esencial para la supervivencia y el bienestar del ser humano y muchos otros organismos; sin embargo, décadas de investigación muestran también los grandes beneficios del sueño en el desempeño cognitivo, incluyendo la memoria y la consolidación de los aprendizajes. Ambos estados del sueño, REM y NREM cumplen importantes roles en la consolidación de distintos tipos de aprendizajes; así el sueño NREM está asociado con una variedad de aprendizajes declarativos y no declarativos, mientras que el sueño REM se vincula principalmente con aprendizajes procedimentales, la solución de problemas y el pensamiento creativo. Estudios de laboratorio confirman también que la privación total o la privación parcial pero crónica del sueño perjudica los procesos de consolidación del aprendizaje al causar efectos adversos en los procesos de plasticidad neuronal. Finalmente, se exponen los fundamentos neurológicos de la relación entre sueño y memoria-aprendizaje. El hipocampo es la estructura fundamental que permite elaborar una representación unificada de la experiencia a ser recordada y para transferir información de la memoria a corto plazo hacia la memoria a largo plazo, en tanto que la corteza prefrontal contribuye selectivamente a la recuperación de recuerdos en el hipocampo. Los recuerdos son integrados en la neocorteza en las estructuras cognitivas denominadas esquemas. La privación del sueño afecta adversamente el desempeño de tareas mediado por el hipocampo. Este efecto puede deberse al impacto negativo de la privación del sueño sobre el proceso de neurogénesis (generación de nuevas neuronas), así como sobre el proceso de potenciación a largo plazo (PLP).

Palabras clave: sueño, privación del sueño, memoria, aprendizaje, hipocampo

THE COGNITIVE NEUROSCIENCE OF THE IMPACT OF SLEEP QUALITY ON LEARNING

ABSTRACT

This work is carried out under the system of Mode of Thematic Approach from two research articles previously published by the author in scientific journals. In the article Brief concepts of learning in neurosciences, the goal is to provide somewhat a neuroscientific basis for an understanding of the processes of learning and memory, and how these concepts can be applied in psycho-educative settings, in order to improve the teaching-learning strategies and the development of skills in students. The article The importance of sleep in learning: A look from the neuroscientific perspective contributes to a better understanding about how sleep influences on several cognitive and physiological processes, mainly on learning and memory, from a neuroscience perspective and with extensions to psychological look. Following, in the central part of this work, an extensive review is made about facets of the relationship between sleep quality, understood as total duration of sleep, and memory and learning; as well as about the neurological foundations of these relationship. Sleep is an essential function for human being and many other organisms to survive and have well-being. Notwithstanding, many decades of research also show the great benefits of sleep on cognitive performance, including memory and consolidation of learning. Both sleep states, REM and NREM, accomplish important roles in the consolidation of different types of learning; thus NREM sleep is associated with a diversity of declarative and non declarative learning, whereas REM sleep is mainly related with procedural types of learning, problem solving and creative thinking. Laboratory studies also confirm that total deprivation or partial chronic deprivation of sleep are detrimental for learning and memory consolidation, because of adverse effects caused in the processes of neural plasticity. Finally, it follows a brief presentation of the neurological foundations of the relationship between sleep and memory-learning. The hippocampus is the fundamental structure which allows to make an unified representation of the experience to be recorded and to transfer information of short term memory to long term memory. On the other hand, prefrontal cortex selectively contributes to recall memories on the hippocampus. Memories are integrated in the neocortex into the cognitive structures named schemas. Sleep deprivation adversely affects performances on tasks mediated by the hippocampus. This effect can be due to the negative impact of sleep deprivation on neurogenesis (generation of new neurons), as well as on the long term potentiation (LTP) process.

Keywords: sleep, sleep deprivation, memory, learning, hippocampus

I. INTRODUCCIÓN

La neurociencia cognitiva examina la interacción entre el cerebro, la mente y el comportamiento, centrándose en cómo procesamos la información y aprendemos. Un tema fundamental en el campo de estudio de la ciencia cognitiva es el impacto de la calidad del sueño en el aprendizaje. El sueño desempeña un papel crucial en la consolidación de la memoria y en otros procesos cognitivos importantes para el aprendizaje a través de mecanismos que son objeto de investigación por las neurociencias. En los mamíferos, por lo menos, el sueño permite algunas funciones importantes como el ahorro de calorías y la restauración del rendimiento, y en el caso particular de los humanos, tiene un impacto positivo en el estado de ánimo. Pero lo que es de interés especial en este trabajo, es que el sueño favorece la plasticidad cerebral (Cirelli & Tononi, 2008), a través de la recuperación de la conectividad entre las neuronas, lo cual se reflejaría en los desempeños observados en tareas de memorización y aprendizaje.

Un adulto saludable debería dormir un promedio de 7 horas diarias (Watson et al., 2015). En el caso de niños y adolescentes, la evidencia indica que lo recomendable es entre 8 y 9 horas por noche (Mercer et al., 1998). Sin embargo, las estadísticas indican cifras importantes de población que no duermen adecuadamente (e. g., Gradisar et al, 2011; Léger et al., 2008), en algunos casos debido a trastornos diversos o, más frecuentemente, a una decisión deliberada o forzada asociada a factores de estilo de vida, a lo cual se denomina privación del sueño. La literatura científica indica que, en general, la privación del sueño tiene efectos nocivos para la salud física (Liew & Aung, 2021) y mental (e. g.,

Banks & Dinges, 2007). Además, en lo que es directamente relevante al presente trabajo, la privación del sueño conlleva efectos adversos en la memoria y el aprendizaje (Pérez et al., 2024). Estos efectos, a su vez, se deben al impacto que la privación del sueño tiene en los mecanismos neurológicos responsables de la adquisición y consolidación de la información (Fogel et al., 2022). De acuerdo con lo señalado, se plantea la siguiente pregunta: ¿cuál es el impacto de la calidad del sueño sobre el aprendizaje y cuáles son los fundamentos neurocognitivos de dicha relación?

El presente estudio tiene un interés científico intrínseco, en la medida que analiza investigación destinada a aumentar nuestra comprensión del fenómeno del sueño y los mecanismos y procesos que explican su relación con la memoria y el aprendizaje. Asimismo, tiene también, potencialmente, un importante interés aplicado. Globalmente, un gran porcentaje de la población no duerme adecuadamente. La falta de un sueño de calidad puede deberse a trastornos físicos o emocionales, pero también, en gran medida, a factores relacionados con el estilo de vida que caracteriza, sobre todo, a las poblaciones urbanas. La progresiva inserción, primero en la escuela y, posteriormente, en el mundo laboral, es uno de los factores de mayor importancia en la gradual pérdida de horas de sueño en la vida del individuo. A esto se agrega, en muchos casos, el aplazar la hora de acostarse, o simplemente no dormir toda la noche, para dedicarse a diversas actividades de ocio. Como resultado, las personas duermen menos de lo recomendable para mantener un buen estado de salud física y mental. De este modo, se configuran situaciones de restricción, o privación crónica, del sueño (hábito cotidiano de dormir todos los días menos horas de lo

recomendable), y también, en muchos individuos, de privación aguda (quedarse una o más noches enteras sin dormir).

En las últimas décadas, intensa investigación de laboratorio ha ido revelando los efectos adversos de la privación del sueño en la salud física y mental de las personas, y, ya en relación al tema del presente trabajo, en los procesos cognitivos, en diversas especies, incluyendo el ser humano. Un gran segmento de esos estudios ha estado dedicado a investigar la relación entre el sueño, por un lado, y el aprendizaje y la memoria, por el otro. Paralelamente, a esa investigación se ha sumado el estudio de los mecanismos y sistemas neurales involucrados en el dormir y los efectos que un sueño adecuado, o la privación del mismo, tienen en el funcionamiento de dichos mecanismos y sistemas. De esta manera, se ha logrado establecer las bases para una comprensión cada vez mejor de la relación entre sueño y memoria-aprendizaje, y las bases neurales de esa relación.

La meta del presente trabajo es realizar una revisión actualizada de tópicos fundamentales acerca de la relación entre sueño y memoria-aprendizaje y sus bases neurales. La idea del presente trabajo es integrar en un solo documento información sobre las características más saltantes del fenómeno del sueño; su rol en diversos aspectos de la memoria y el aprendizaje; el papel del hipocampo, fundamentalmente, en los procesos de memoria-aprendizaje y los efectos de la privación del sueño en la funcionalidad de dicha estructura. El énfasis del trabajo está colocado en la privación del sueño, entendido como una menor duración diaria del sueño debida a factores externos y no a alteraciones físicas o mentales de la persona.

II. OBJETIVOS

Objetivo general:

Revisar teoría e investigación acerca del impacto de la calidad del sueño, específicamente en relación a la privación del sueño, sobre el aprendizaje y los fundamentos neurocognitivos de dicha relación.

Objetivos específicos:

- Revisar el papel del sueño en la reorganización y fortalecimiento de las conexiones neuronales asociadas con el aprendizaje.
- Analizar los efectos de la privación del sueño sobre los procesos cognitivos y en particular la memoria, en animales y humanos y, en humanos, sobre el rendimiento académico.
- Identificar las estructuras y funciones neurales asociadas al aprendizaje.
- Revisar el impacto de la privación del sueño en el funcionamiento de áreas importantes para el aprendizaje, principalmente el hipocampo.

III. DESARROLLO DE ARTÍCULOS

Artículo 1. Título: Breves conceptos del aprendizaje en neurociencias.

<https://revistas.unife.edu.pe/index.php/aletheia/article/view/1114>

El artículo enfatiza en el fenómeno de la plasticidad neuronal, como la base física de los procesos de aprendizaje. El sistema nervioso es una compleja red de células, llamadas neuronas, cada una de las cuales está conectada con otras. Contra la creencia que predominó durante muchas décadas, ya ha quedado firmemente establecido el hecho de que el sistema nervioso puede experimentar modificaciones a lo largo de la vida del individuo, a partir de las interacciones de este con el ambiente físico, y en el caso particular de los humanos, también social. El fenómeno de la plasticidad neuronal permite comprender no solo el proceso de aprendizaje, sino también el hecho de que el cerebro sea capaz de recuperar ciertas funciones después de sufrir alguna lesión. Específicamente en relación con el aprendizaje y la memoria, sabemos actualmente que requieren la participación de diversas estructuras neuronales, no solamente de aquellas aparentemente más relacionadas con tales procesos sino también de la actividad de estructuras primariamente conectadas con otras funciones, como la motivación, la emoción y la atención, entre otras, que también son relevantes al aprendizaje.

El aprendizaje, como un cambio de conducta relativamente permanente y como resultado de la experiencia, encuentra así en los cambios producidos a partir de dicha experiencia en el sistema nervioso. El aprendizaje ha sido investigado a tres niveles; el neuronal, el conductual y el cognitivo. El primero comprende los procesos celulares físicos y químicos que constituyen la base del aprendizaje. Como se verá más abajo, una serie de procesos a nivel celular,

explican la formación de recuerdos y participan en la consolidación de los mismos en la memoria a largo plazo. Este campo es el que corresponde propiamente a las neurociencias. El nivel conductual ha sido abordado principalmente como un estudio de la manera en que ciertas variables ambientales y fisiológicas producen cambios observables en el comportamiento. En esa línea cabe mencionar, por ejemplo, las investigaciones enmarcadas en el campo conocido como análisis experimental del comportamiento. El objetivo de estos estudios es demostrar como la conducta de organismos individuales puede cambiar de manera sistemática y predecible como resultado de cambios sistemáticos en el ambiente o en determinadas variables fisiológicas. Finalmente, el nivel cognitivo comprende la inferencia de mecanismos y procesos no observables, establecidos en términos abstractos, como el concepto de representación, que permiten una descripción sistemática del resultado final de la formación de recuerdos y el aprendizaje.

Se reconocen diversos tipos de aprendizaje. Desde el punto de visto del producto aprendido, el aprendizaje puede ser perceptual, motor, espacial o temporal, entre otros. El aprendizaje perceptual conduce a reconocer las características de objetos y eventos; el motor consiste en aprender nuevas acciones; el espacial comprende aprender a identificar lugares y rutas y el temporal tiene como resultado reconocer secuencias u orden temporal en los eventos. Desde el punto de vista de la complejidad psicológica, el aprendizaje puede ser asociativo, relacional o aun más complejo, que implica la comprensión de conceptos, principios y estructuras simbólicas. La memoria admite también una clasificación en varios tipos. Desde el punto de vista del

contenido de la memoria (la naturaleza de lo recordado), la memoria generalmente como declarativa o explícita y no declarativa o implícita (lo que será examinado más abajo). La primera comprende lo que ordinariamente se denomina conocimiento, tanto de experiencias personales (memoria episódica), como generales (memoria semántica), todo lo cual generalmente puede expresarse de manera verbal y la segunda está constituida básicamente por habilidades y hábitos, algunos de los cuales incluso no son percibidos conscientemente por el individuo. Desde el punto de vista de la organización de la memoria, se reconocen generalmente el registro sensorial (memoria a muy corto plazo y sin procesamiento), la memoria de trabajo (que permite retener temporalmente información requerida para completar una determinada tarea) y memoria a largo plazo, constituida por los recuerdos consolidados y mantenidos de manera permanente en la memoria, para su recuperación en algún momento en el futuro.

En el transcurso del siglo XX, y sobre todo a partir de las hipótesis propuestas por Donald Hebb, la investigación fue descubriendo una serie de mecanismos en los que subyace la plasticidad neuronal. Varios de dichos estudios mostraron cómo incluso la morfología de las terminaciones de las dendritas sufría cambios como resultado de la exposición del sujeto a determinadas experiencias. De modo que esos cambios fueron identificados como la base física del aprendizaje. A esto se sumó la comprobación de que existen ciertos períodos críticos o sensibles durante los cuales la exposición a determinadas experiencias conduce a un aprendizaje.

Todos estos hechos son relevantes a la práctica educativa. El conocimiento de los factores que, a nivel neural, facilitan o interfieren con el aprendizaje es fundamental para planificar acciones educativas que consideren no solo el nivel de maduración neurológica del educando, sino también las condiciones de funcionamiento neural individual que pueden optimizar el rendimiento de la memoria y mejorar los resultados del aprendizaje.

Artículo 2. Título: La importancia del sueño en el aprendizaje: visos desde la perspectiva de la neurociencia.

<https://revistas.unife.edu.pe/index.php/avancesenpsicologia/article/view/349>

El fenómeno del sueño ha sido motivo de gran interés para el ser humano durante siglos, por múltiples razones, no solo científicas. Su estudio científico en las últimas décadas ha revelado propiedades sorprendentes en este fenómeno. Contrario a lo que se creyó durante siglos, el sueño no implica una disminución, menos ausencia, de actividad cerebral; sino, más bien, comprende una vasta y compleja secuencia de procesos en el cerebro. Aunque incluso intuitivamente se reconocen el sueño también como una necesidad y ciertas consecuencias adversas de no dormir adecuadamente, la investigación científica de las últimas décadas ha ido corroborando, precisando y perfeccionando ese conocimiento. El sueño sí constituye una disminución del estado de alerta y la capacidad de responder a los estímulos; sin embargo, se ha sugerido, como se verá luego, que la reducción de tales funciones es fundamental para el restablecimiento de otras igualmente importantes para la supervivencia y adaptación individual.

Se considera que la base neurológica de la alternación entre sueño y vigilia descansa en los núcleos supraquiasmáticos del hipotálamo. Las células de estos núcleos incrementan su actividad durante el día, alcanzando su nivel más alto en el atardecer, con la reducción de la iluminación natural y el aumento de descarga de la melatonina, lo que lleva a la gradual reducción de la actividad del individuo.

La investigación moderna del sueño distingue entre dos fases alternantes, llamadas el sueño REM (fase de movimientos oculares rápidos) y sueño NREM (ausencia de movimientos oculares rápidos). Distintas estructuras están implicadas en el control de estas dos fases. La fase NREM se caracteriza por la presencia de las llamadas ondas lentas y, como veremos más abajo, comprende, a su vez varias etapas, comenzando por el pase de la vigilia al sueño y continuando con la fase 2 (aparición de los patrones de actividad llamados husos de sueño) y continuando con las fases 3 y 4 (algunos autores las agrupan en una sola), que corresponde al sueño profundo o reparador, caracterizado por la presencia de ondas lentas. En la fase REM se producen las llamadas ensoñaciones, es decir, la actividad onírica, que se revela por medio de la presencia de un patrón de ondas característico y la presencia de los movimientos oculares rápidos. Asimismo, en esta fase disminuye el tono muscular imposibilitando el movimiento corporal.

El sueño está relacionado con varios aspectos funcionales del organismo. Influye, por el ejemplo, en el sistema inmunológico; por lo que una mala calidad de sueño constituye un factor de riesgo para contraer enfermedades. Por otro lado, el trastorno conocido como apnea obstructiva del sueño puede tener

impactos negativos en el sistema cardiovascular. La falta de sueño también afecta adversamente al sistema endocrino y constituye un factor de riesgo para la obesidad en escolares.

Desde hace décadas se ha ido acumulando también evidencia acerca de la relación del sueño con la memoria y el aprendizaje. Ambos conceptos hacen referencia a los cambios conductuales más o menos permanentes que resultan de alguna experiencia; en el lenguaje ordinario, memorizar es adquirir conocimiento que puede ser luego recuperado y aprender es poder llevar a cabo una acción específica como consecuencia de la exposición a una experiencia o práctica determinadas, pero tal capacidad solo es posible mediante la operación de algún mecanismo de memoria. Per la fijación de conocimientos o habilidades, a su vez, solo es posible debido a procesos que permiten al sistema nervioso modificarse como resultado de la exposición a dichas experiencias o prácticas, tales procesos se denominan colectivamente plasticidad neuronal. “La plasticidad cerebral es un proceso de adaptación constante, mediante el cual las neuronas consiguen aumentar sus conexiones con las otras neuronas de forma estable a consecuencia de la experiencia, aprendizaje, estimulación sensorial y cognitiva” (p. 133).

El sueño se relaciona de dos maneras con la memoria y el aprendizaje. Por un lado, contribuye a la adquisición de nueva información y, por el otro, a la consolidación de la memoria. La consolidación consiste en la fijación y estabilización de la información o experiencia adquirida. Como se revisará detenidamente luego, diversas fases del sueño contribuyen al proceso de consolidación, en tanto que la privación del sueño tiene efectos adversos sobre

la memoria y el aprendizaje, al tiempo que se analizará el papel del hipocampo en estos procesos.

.

IV. DISCUSIONES

Sueño

El sueño ha sido definido como “un estado conductual reversible de desconexión del medioambiente y de falta de responsividad a este” (Sullivan et al., 2022, p. 16). Según Siegel (2022), lo que diferencia el sueño de la vigilia es: “(1) actividad motora reducida, (2) disminución de respuesta a la estimulación, (3) posturas estereotípicas (por ejemplo, en humanos tener los ojos cerrados), (4) relativamente fácil reversibilidad (a diferencia del coma, hibernación y estivación) y (5) regulación homeostática (por ejemplo, la privación del sueño es seguida por su recuperación” (p. 52). Otro texto concuerda en lo esencial: “El sueño humano es un proceso restaurador que es regulado por el cerebro, reversible, homeostático, involucrado en una organización circadiana y socio-fisiológica, que involucra conductas ritualísticas características, una postura específica de especie, una cantidad de desconexión perceptual y elevados umbrales de activación” (McNamara, 2023, p. 4). Sin embargo, como Siegel (2022) también observa, con fines de investigación científica del sueño estos criterios plantean muchos problemas de definición, por lo que en este campo se suele asumir el registro electroencefalográfico (EEG) como indicador del estado de sueño. Pero incluso este indicador por sí mismo sería insuficiente pues, por ejemplo, en las fases de movimientos oculares rápidos (REM), el patrón EEG es similar al de la vigilia, aunque el sujeto está dormido, como puede comprobarse en su comportamiento. Se considera que el tallo cerebral y la corteza frontal son esenciales en el control del sueño y la vigilia y el sistema activador reticular la estructura que mantiene el estado de vigilia.

Actualmente se sabe que el cerebro sigue activo durante el sueño, incluso en los momentos de sueño “profundo”. Como señalan Fogel et al. (2022), “es actualmente ampliamente aceptado que el cerebro durmiente es altamente activo y dinámico” (p. 311). Por un lado, durante el sueño se producen movimientos corporales que pueden tener un valor adaptativo. De igual manera, durante el sueño puede haber, en algunos casos, respuesta a estímulos externos, sobre todo si éstos son importantes para el sujeto (Sullivan et al., 2022, p. 19). Pero, como veremos, la actividad cerebral durante el sueño va mucho más allá. Una pregunta para la que aún no se tiene una respuesta satisfactoria es por qué dormimos. Se han sugerido distintas hipótesis. Una de ellas es de especial interés en este trabajo: dormimos para que, una vez desconectados del medio ambiente, sean posibles ciertos tipos de plasticidad cerebral (Cirelli & Tononi, 2008). Como se ha argumentado algunas veces, se puede comprender la importancia adaptativa de este proceso si se tiene en cuenta que mientras el individuo duerme no le es posible realizar otras importantes funciones biológicas, como alimentarse o reproducirse, además de quedar expuesto a peligros ambientales diversos. Y, como agregan Antony y Paller (2017), desde un punto de vista evolutivo, se puede asumir que, probablemente, favorecer la plasticidad cerebral no haya sido la función original del dormir, pero que las presiones evolutivas para el desarrollo de una mayor plasticidad hayan incorporado el dormir como un aspecto esencial de la misma.

Se puede decir que la investigación moderna del sueño comienza con el descubrimiento por Aserinsky y Kleitman (1953) de los dos estados alternantes del sueño: el estado de movimientos oculares rápidos (REM) y el estado de no

movimientos oculares rápidos (NREM). Estos estados han sido comprobados en todas las especies de mamíferos y de aves estudiadas (Sullivan et al., 2022). Los estados REM y NREM son bastante distintos entre sí, con una gran activación del registro EEG durante el estado REM a diferencia del estado NREM (McNamara, 2023). En humanos, el estado REM ocupa aproximadamente el 22% del tiempo total de sueño (McNamara, 2023) y los episodios REM, que suman cuatro o cinco veces durante unas siete u ocho horas de sueño, son más largos hacia el último tercio del sueño. La mayor activación EEG durante el estado REM refleja un mayor nivel de actividad mental durante este estado, lo que se manifiesta como actividad onírica, el soñar. Sin embargo, durante este estado la actividad muscular se inhibe por completo debido a la acción del *locus caeruleus*. En cambio, durante el estado NREM se mantiene cierto nivel de tono muscular, permitiendo el movimiento corporal. El estado NREM se suele dividir en cuatro etapas o en tres, de acuerdo con el marco conceptual adoptado. La mayor numeración de estas etapas se asocia con una mayor “profundidad” del sueño en función del umbral de despertamiento. En el esquema de tres etapas, las etapas N1 y N2 corresponden al sueño “ligero” y ocupan el 50% del tiempo total de sueño. La etapa N3 corresponde al sueño “reparador” o “profundo”. Como observan Sullivan et al. (2022), el sueño de ondas lentas (SWS) predomina, en adultos jóvenes, en el estado NREM en el comienzo del episodio de sueño. Las SWS son un patrón caracterizado por alta amplitud y oscilaciones de baja frecuencia (0.5 a 4 Hz), lo que demostraría una sincronización global de actividad de las neuronas corticales durante esta etapa (Alger & Payne, 2018).

Sueño, memoria y aprendizaje

La moderna psicología cognitiva distingue diferentes tipos de memoria. La memoria declarativa incluye los aspectos de memoria episódica (recuerdo de experiencias personales) y memoria semántica (conocimientos generales), que, a su vez, consisten en piezas de información de las que el sujeto es claramente consciente. En tanto que la memoria no declarativa incluye habilidades, hábitos, condicionamiento y otras variantes de información de las que el individuo no es totalmente consciente. La memoria no declarativa comprende básicamente el conocimiento de “procedimientos” para llevar a cabo diferentes tareas, sin que se tenga explícitamente el recuerdo de las circunstancias en que esas habilidades se adquirieron (Fogel et al., 2022). La nueva información puede ser con el tiempo olvidada, o de lo contrario, almacenada en la memoria a largo plazo. De este modo, es importante distinguir entre *codificación* y *consolidación* de la nueva información. La codificación es el proceso de adquisición de la nueva información, pero la *consolidación de la memoria* es el proceso por el cual la información adquirida se transforma en contenidos permanentes, en la memoria a largo plazo (Alger & Payne, 2018). La consolidación de la memoria ocurre durante un determinado “período crítico”. Es decir que, después del momento de codificación, y ya sea inmediatamente o después de un tiempo, existe un período en que, en circunstancias favorables, la información se consolida. Si algo interrumpe el proceso de consolidación durante este período, solo se conservará la cantidad de información almacenada hasta ese momento.

La calidad del sueño tiene un efecto importante en la memoria declarativa como en la no declarativa. Y, como veremos a continuación, el sueño REM y el sueño NREM parecen favorecer diferentes procesos de memoria.

El sueño NREM subyace a la consolidación de ciertos aprendizajes. Se sabe ahora que la consolidación del aprendizaje declarativo y no declarativo está asociada con las características señales conocidas como husos del sueño (McNamara, 2023), que aparecen en la etapa N2. Los husos de sueño pueden caracterizarse “como ráfagas de actividad eléctrica en el rango de 10-15 Hz... su aparición... representa el momento en que se produce una “desconexión” del medio ambiente, modulando la influencia de los estímulos externos” (Acosta, 2019, p. 30). Los husos de sueño son muy estables entre las sucesivas noches, pero varían ampliamente de un individuo a otro. La investigación muestra que los husos de sueño son cruciales para que se consoliden elementos de memoria declarativa y no declarativa durante el sueño y que la ocurrencia de estos husos de sueño en las estructuras cerebrales durante el proceso inicial de aprendizaje apoya la consolidación de la memoria.

La cantidad de etapa 2 de sueño correlaciona con el avance del aprendizaje en una tarea motora y recíprocamente, un entrenamiento intensivo en una tarea perceptual-motora ocasiona un aumento en el número, densidad y duración de los husos de sueño durante la etapa 2 del sueño que siguió a dicho entrenamiento, estos efectos no se deben a la actividad motora en sí, sino a un proceso activo de aprendizaje (Fogel et al., 2022). Por otro lado, las pérdidas en memoria declarativa están asociados con una baja actividad de husos de sueño en pacientes con enfermedad de Alzheimer y la duración del sueño NREM

(Fogel et al., 2022). La transferencia a largo plazo de recuerdos del hipocampo hacia el neocórtex se lleva a cabo, posiblemente a través de la coordinación entre los husos de sueño en el neocórtex y la actividad hipocampal (Fogel et al., 2022).

Por otro lado, los husos de sueño están regulados por las ondas lentas (SWS) (Fogel et al., 2022). Algunos estudios que han empleado procedimientos de privación parcial del sueño, han encontrado que la fase SWS o, por lo menos, la primera mitad del sueño, la cual abunda en SWS, tiene un efecto positivo en la consolidación de recuerdos declarativos novedosos (Plihal & Born, 1999). Este impacto es mayor en los más jóvenes y correlaciona con la duración del sueño (Aly & Moscovitch, 2010), en tanto que, en personas mayores, el olvido a largo plazo está asociado con las interrupciones del sueño (Mary et al., 2013). El período SWS es fundamental tanto para ayudar a consolidar aprendizajes ya realizados, como para preparar al cerebro para nuevos aprendizajes. En primer lugar, se han detectado que durante el período SWS ocurren estallidos de actividad en el hipocampo, conocidos como complejos de ondas agudas, de alta frecuencia (SWR, por su nombre en inglés). Como señalan Alger y Payne (2018), algunas teorías sobre la memoria declarativa sostienen que durante el período de SWS, “estos complejos SWR contribuyen a la reactivación de redes neuronales recientemente activadas durante la vigilia, por ejemplo, los que representan información aprendida” (Alger & Payne, 2018, p. 107). En segundo lugar, también se ha propuesto que el período SWS contribuye a restablecer la capacidad de las neuronas para formar nuevas conexiones; es decir, preparar al cerebro para un nuevo aprendizaje. De este modo, el “SWS sirve para reducir

globalmente los potenciales sinápticos, llevándolos a su nivel basal de manera que se restauren la plasticidad y la habilidad para aprender” (Alger & Payne, 2018, p. 107).

Estudios de laboratorio han demostrado los efectos del sueño en la consolidación de determinadas habilidades perceptuales. Las tareas empleadas en el campo de aprendizaje perceptual comprenden procesos de discriminación de estímulos, en las cuales el sujeto debe aprender una respuesta diferente a cada estímulo diferente. Por ejemplo, el aprendizaje de discriminaciones visuales se ve favorecido por la cantidad de SWS en la primera cuarta parte de la noche y la cantidad de sueño REM en el último cuarto (Stickgold et al., 2000). De acuerdo con Fogel et al. (2022), estos hallazgos indican que las SWS inducen la formación del recuerdo, mientras que el sueño REM contribuye posiblemente, pero no necesariamente, a su consolidación. Más bien, el sueño REM ha sido asociado en la literatura científica principalmente con la memoria procedimental y el pensamiento creativo. Así, el sueño REM cumple un papel importante en diversas tareas cognitivas complejas como tareas de creativas de asociación remota, resolución de anagramas, solución de problemas con la Torre de Hanoi y aprendizaje probabilístico (Antony & Paller, 2017).

Como se mencionó, el sueño es igualmente importante en la preparación del cerebro para una próxima actividad de aprendizaje. Walker y Stickgold (2006) revisaron varios estudios que indican que la privación del sueño afecta a la posterior codificación de nueva información. En uno de dichos estudios, realizado por los mismos autores, sujetos previamente privados por 36 horas o no privados realizaron una tarea de memorización de palabras. Después de

realizada la tarea, y de dos subsecuentes noches de sueño normal, los sujetos realizaron una tarea de reconocimiento (indicar entre un conjunto de palabras cuáles eran las previamente memorizadas). Los participantes que habían sido privados antes de la tarea de codificación retuvieron un 40% menos de información que los sujetos no privados. Estos y otros resultados revisados por Walker y Stickgold (2006) indican la importancia de un sueño adecuado antes de realizar una tarea de aprendizaje, para contribuir a una exitosa retención de lo aprendido.

Efectos cognitivos de la privación del sueño

Como observaron Antony y Paller (2017), el sueño influye positivamente en la atención, la velocidad del procesamiento y la toma racional de decisiones, entre muchas otras funciones cognitivas. Por lo tanto, es de esperarse que la privación del sueño afecte negativamente todas esas funciones. La privación del sueño puede ser aguda o crónica, esta última también referida como restricción del sueño: “La privación aguda total se refiere a períodos de estar despierto que se extienden más allá de las típicas 16 o 18 horas, en tanto que la restricción se refiere a un sueño inadecuado por 24 horas por una o múltiples noches” (Banks et al., 2022, p. 46). Banks et al. también resumen evidencia acerca de los cambios metabólicos que tienen lugar en el cerebro como resultado de la falta de sueño.

La privación de sueño disminuye el desempeño en diversas funciones cognitivas. Así, por ejemplo, afecta negativamente la toma de decisiones, la concentración y la atención (Lo et al., 2016; Saadat et al., 2021). Sin embargo,

parece que hay grandes diferencias individuales en el grado en que la privación del sueño afecta el funcionamiento cognitivo (Van Dongen et al., 2005).

La privación del sueño afecta el recuerdo de lo aprendido. En general, la privación del sueño anterior al aprendizaje afecta a la fase de adquisición y procesamiento de la nueva información, en tanto que la privación posterior al aprendizaje afecta a la consolidación (Abel et al., 2013). Las diversas fases del sueño juegan un papel activo en la adquisición o la consolidación. Como señalan Fogel et al. (2022), “todas las etapas del sueño humano (REM, SWS y etapa 2) pueden estar activamente involucrados de modos característicos en el aprendizaje y la consolidación de la memoria” (p. 313).

Ciertos procesos parecen ser especialmente afectados por la privación de determinadas fases del sueño. Por ejemplo, la deprivación de la etapa 2 del sueño perjudica la memoria para una tarea perceptual-motora (Smith & MacNeill, 1994). La privación específicamente del sueño REM disminuye el recuerdo de los aspectos considerados como parte de la memoria episódica (Fogel et al., 2022). Es interesante notar que algunos estudios en ratas, revisados por Poe et al. (2010), indican que la privación del primer episodio de sueño REM reduce el recuerdo de una tarea recién aprendida, aun cuando el monto total de sueño REM se mantenga, pero los animales a los que se permite entrar en sueño REM conservan el recuerdo de lo aprendido, aunque sean privados de sueño REM en un momento posterior del mismo ciclo de sueño. Otros estudios indican que la privación del sueño REM influye negativamente en desempeños como el aprendizaje de evitación, condicionamiento operante, tareas de

solución de problemas complejos, discriminación visual y el recuerdo de una historia completa (Antony & Paller, 2017).

No solo la pérdida aguda o total de sueño por una noche produce efectos dañinos sobre la cognición; dichos efectos también pueden ser causados por la restricción del sueño durante varios días seguidos. Reynolds y Banks (2010) revisaron estudios acerca de sujetos que durmieron menos de 7 horas durante 5 o más noches consecutivas y observaron los efectos acumulativos de esta restricción del sueño. En concreto, los sujetos mostraron disminuciones de desempeño en tareas de vigilancia motora, con disminución de la velocidad de la respuesta y aumento de las pausas. Algunos de esos resultados muestran que cuanto mayor sea la restricción del sueño (horas perdidas de sueño) o más las noches con dicha restricción, el desempeño iguala al que se hubiera obtenido con una privación total de sueño.

Estos diversos resultados nos abocan a algunas consideraciones de interés práctico. En primer lugar, es una creencia común que luego de un período de privación de sueño, éste puede recuperarse posteriormente en su integridad. Sin embargo, la evidencia no apoya esa creencia. Por ejemplo, en un estudio de Gulevich et al. (1966), en humanos, se observó que, tras un período de 11 días de total privación de sueño, el tiempo de sueño “recuperado” fue inferior al tiempo perdido. En segundo lugar, algunos de los resultados de Van Dongen et al. (2003) parecen mostrar que cuando se instala una pérdida crónica de sueño, las personas tienden a subestimar los efectos nocivos de la falta de sueño en su funcionamiento cognitivo. Esto puede inducir a la persona a persistir en la realización de sus actividades en las que podría cometer errores debido a la falta

de sueño. En conjunto, ambos hechos subrayan la necesidad de dormir lo necesario de manera regular.

La privación del sueño en el aprendizaje y rendimiento académico

En la sección anterior se revisó evidencia acerca de cómo la privación del sueño experimentalmente inducida influye en el desempeño en tareas de laboratorio que evalúan la memoria y el aprendizaje. Como pudo apreciarse, los resultados son bastante claros respecto del efecto negativo de la privación del sueño sobre dichos desempeños. Sin embargo, esos resultados tienen un paralelo importante en el desempeño cognitivo cotidiano de las personas. En la vida diaria, la privación del sueño se presenta principalmente como restricción y esta se debe a horarios de sueño cada vez más reducidos: las personas se acuestan cada vez más tarde y se levantan cada vez más temprano. Si bien en la vida cotidiana existen diversos factores de sueño que pueden evaluarse independientemente, además de la privación, tales como la somnolencia, percepción de la calidad del sueño y los trastornos del sueño; esta revisión pondrá énfasis en los efectos de la privación.

Una de las áreas que resulta particularmente afectada por la privación del sueño en el ambiente natural es el rendimiento académico. Estos efectos han sido observados en diferentes niveles educativos y de edad. Por ejemplo, Dewald et al. (2010) realizaron un metaanálisis para evaluar la relación entre el rendimiento escolar y tres variables: somnolencia, calidad del sueño y duración del sueño. Específicamente en relación con la duración del sueño, los estudios revisados comprendieron 15,199 participantes. Los resultados indican una relación positiva, pequeña pero significativa entre duración del sueño y

rendimiento escolar. En un reciente metaanálisis de estudios realizados en 12,906 estudiantes de medicina, no pudo hallarse una relación entre duración del sueño y rendimiento (Seoane et al., 2020); sin embargo, los autores consideran que los estudios revisados pudieran haber incurrido en cierto nivel de imprecisión en la medición de la duración del sueño, recomendando para futuros estudios el empleo de medidas objetivas y estandarizadas. Por su parte, Suardiaz-Muro et al. (2020) realizaron una revisión sistemática cubriendo investigaciones en estudiantes universitarios (entre 18 y 26 años). Varios de los estudios revisados reportaron una relación positiva entre duración del sueño y rendimiento académico y algunos otros reportaron ausencia de relación. Estos resultados ambiguos son explicados por los autores en función de varios factores. Por un lado, señalan que algunos estudiantes pueden haberse “adaptado” a la falta de sueño. Por otro lado, ciertas diferencias metodológicas también pueden ser responsables de las diferencias en los resultados; como, por ejemplo, que algunos estudios pueden haber ignorado los períodos de siestas o las diferencias en la duración del sueño entre los días de trabajo y de fin de semana. Sin embargo, la revisión incluyó también estudios en los que se mostraba que el hábito de privarse totalmente del sueño en varias ocasiones, o el no haber dormido durante una noche entera la semana anterior, estuvieron relacionados con menor rendimiento académico.

Papel del hipocampo y la corteza prefrontal en la memoria y el aprendizaje.

Mediante el estudio del famoso caso de H. M., la neuropsicóloga Brenda Milner y otros empezaron a reconocer el papel del hipocampo en la memoria. Actualmente, se reconoce su papel fundamental en la memoria declarativa. El

hipocampo es una estructura localizada en el lóbulo temporal medio y forma parte de un sistema funcional conocido como formación hipocampal, la cual recibe información sensorial procedente de varias áreas corticales (Kreutzmann et al., 2015). El hipocampo es una estructura fundamental para el paso de la información de la memoria a corto plazo a la memoria a largo plazo y en verdad es fundamental para actividades de procesamiento cognitivo complejo.

Un aspecto importante del procesamiento que ocurre en el hipocampo es que no solo “almacena” experiencias aisladas, sino que asocia eventos que se han presentado conjuntamente en la experiencia de la persona. La información que procede de diversas áreas sensoriales corticales es integrada en el hipocampo para elaborar una representación unificada del evento a ser recordado (Alger & Payne, 2018). Esta actividad de procesamiento ocurre a través del mecanismo conocido como *potenciación a largo plazo, PLP* (Pliszka, 2016). Esta PLP consiste en cambios que ocurren en la fuerza de conexiones sinápticas entre neuronas que se activan al mismo tiempo; constituyendo de esta manera el mecanismo de la plasticidad neuronal. El PLP es un fenómeno que puede ocurrir en muchas partes del cerebro, pero su presencia en el hipocampo constituye la base para la formación de nuevos recuerdos.

Un aspecto funcional del hipocampo relevante al aprendizaje y la memoria son las oscilaciones neuronales que lo caracterizan. Es aceptado que estas oscilaciones en el potencial de membrana neuronal revelan el nivel de actividad neural (Jensen et al., 2007) y, aspecto importante para el presente trabajo, estas oscilaciones están correlacionadas con actividad cognitiva de alto nivel en humanos (Jacobs & Kahana 2010). El ritmo theta consiste en un patrón

registrado en el EEG del hipocampo. Las oscilaciones theta están relacionadas con múltiples procesos cognitivos, que incluyen memoria y procesamiento sensoriomotor, entre otros (Jacobs et al., 2017). En humanos, se ha demostrado algunas relaciones entre la activación theta y aspectos de la memoria episódica, espacial y de trabajo. También existe cierta evidencia de que la activación theta se relaciona con actividad cognitiva que surge cuando la tarea por aprender es más difícil (Jacobs et al. 2017). De igual modo, también se ha que estas oscilaciones estén vinculadas con procesos de recuperación de información, ya sea durante la vigilia o el sueño (Jacobs et al. 2017). Fogel et al. (2007) observaron aumentos en el ritmo theta durante el sueño REM con posterioridad al aprendizaje de tareas de memoria declarativa. Además, los fenómenos de PLP son inducidos en el hipocampo con más facilidad en los momentos en que se produce el ritmo theta (Pliszka, 2016).

Sin embargo, aspectos más complejos de la memoria pueden explicarse considerando las diversas conexiones del hipocampo con otras regiones. El hipocampo recibe señales de la corteza y las envía a otras regiones corticales. Ranganath y Ritchey (2012) propusieron dos sistemas de memoria, constituidos por diferentes estructuras, que parecen corresponder con diferentes aspectos de la memoria declarativa: el sistema anterior temporal (más vinculado a la memoria semántica) y el sistema medial posterior (más relacionado con la memoria episódica). Estos dos sistemas interactúan con los circuitos del hipocampo. El hipocampo recibe señales de la corteza retrosplenial, la corteza parahipocampal, la corteza perirrinal y la corteza entorrinal, señales que provienen a su vez de varias áreas de la corteza. El sistema anterior temporal

está formado por la corteza perirrinal y el sistema medial posterior por las cortezas parahipocampal y retrosplenial. Ambos sistemas usualmente trabajan juntos en la vida diaria, ya que usualmente la adaptación a un evento específico requiere tanto conocimientos generales (por ejemplo, el significado de dicho evento), como específicos (por ejemplo, recuerdo de acciones pasadas frente a dicho evento).

La comunicación del hipocampo hacia la corteza prefrontal contribuye a la consolidación de la memoria, pero la información que va desde la corteza prefrontal contribuye selectivamente a la recuperación de recuerdos en el hipocampo. De este modo, aunque el hipocampo no requiere necesariamente del input de la corteza prefrontal para recuperar recuerdos, esta última controla la selección de los recuerdos que sean pertinentes al contexto, en la medida que las neuronas de dicha área cortical se activan diferencialmente en distintos contextos (Hyman et al., 2012). Este control se ejerce a través de la comunicación de la corteza prefrontal con las cortezas perirrinal y entorrinal, en las que se procesa las representaciones memoriales y desde donde son enviadas al hipocampo (Preston & Eichenbaum, 2013). Señalan Preston y Eichenbaum: “Según este escenario, eventos bastante relacionados que ocurren en un mismo contexto y la señales que definen ese contexto son procesados en el... hipocampo anterior (en humanos) como una colección de rasgos y eventos que definen el particular contexto en que aquellos eventos ocurren” (2013, p. R766). Esta información es enviada a la corteza prefrontal, la que realiza un procesamiento más elaborado el cual, a su vez, permite controlar la evocación de recuerdos en el hipocampo, dependiendo del contexto en que se halla el

sujeto. Preston y Eichenbaum concluyen señalando la importancia de este proceso para la consolidación de la memoria, en la medida que “la consolidación requiere recuperación, guiada por el contexto, de recuerdos previamente adquiridos como una parte del proceso de integrar nuevos recuerdos con el conocimiento pre-existente” (2013, p. R767).

Así, los recuerdos son integrados en el neocórtex en redes neuronales que corresponderían a los denominados *esquemas cognitivos*. En general, un esquema es una estructura de conocimiento acerca de determinadas regularidades en los objetos y eventos (Farzanfar et al., 2023). Los esquemas tienen un enorme valor adaptativo ya que permiten al individuo predecir las características de un objeto o evento específico novedoso; de este modo, por ejemplo, poseer el esquema de que “en invierno hace más frío que en verano”, permite a la persona saber que, cuando llegue el próximo invierno, deberá abrigarse adecuadamente. Los esquemas se construyen con base en repetidas experiencias precisamente con objetos y eventos que mantienen una estructura más o menos constante en sucesivas instancias. La corteza prefrontal no solamente “asimila” experiencias aisladas, sino que cada nuevo recuerdo es integrado en una red neuronal previamente ya estructurada (con base en información previamente ya adquirida por el sujeto), red que la nueva información modifica en alguna medida. La consolidación de la memoria a través de la formación de esquemas requiere que la información representada en el hipocampo se agregue a estas estructuras de conocimiento ya existentes. Sin embargo, el propio hipocampo juega un rol fundamental en el proceso de incorporar los recuerdos en un esquema, como lo muestran algunos estudios con

lesiones realizados en animales (revisados por Preston & Eichenbaum, 2013). Preston y Eichenbaum (2013) han sugerido también que el papel de la corteza prefrontal en la consolidación de la memoria y la formación de esquemas radica fundamentalmente en resolver el conflicto entre la nueva información y la ya representada en la red neuronal. Dichos autores parten del hecho de que un conocimiento es “nuevo” en la medida que sus características no corresponden por completo a los esquemas ya existentes en el sujeto, lo que significa que en toda experiencia de aprendizaje siempre existirá algún grado de discordancia entre la nueva información y la ya existente.

Antes de pasar al último punto de este apartado, es importante incidir en un aspecto importante de la formación de esquemas, y es el hecho de que este proceso es equivalente al del aprendizaje de conceptos. En cierta forma, se podría decir que un esquema es un conjunto de rasgos definitorios de un concepto. Un concepto puede ser definido como un conjunto de entidades individuales, cada una distinta de la otra, pero que contienen una o algunas propiedades en común o, al menos, guardan entre sí cierto “parecido de familia”. Como sucede con las pruebas de aprendizaje de un esquema, la evidencia del aprendizaje de un concepto requiere la respuesta apropiada a un ejemplar novedoso de tal concepto (Castro & Wasserman, 2017). De hecho, las formas más elaboradas de aprendizaje, que no se limiten solo a asociaciones simples, requieren precisamente la formación de esquemas o de conceptos, debido al carácter *abstracto* de estas entidades. Lo abstracto de un esquema o de un concepto radica en el hecho de que la respuesta del sujeto no es a las características específicas de un objeto determinado, sino a ciertas propiedades

en el objeto, las cuales son las propiedades definitorias del concepto, es decir, las propiedades que todos los miembros o ejemplares de ese concepto tienen en común. Esa respuesta a propiedades abstraídas se demuestra, precisamente, cuando el sujeto realiza la respuesta apropiada a un nuevo ejemplar de dicho conjunto. Sin embargo, no existe aún acuerdo en cuanto a la naturaleza exacta de este tipo de aprendizaje. Un enfoque propone que aprender un esquema o concepto supone la formación de reglas generales verdaderamente abstractas, que el sujeto luego aplica por igual a todos los casos particulares; es decir, lo que se aprende y recuerda son solamente los rasgos comunes a todos los ejemplares. El reconocimiento de un nuevo ejemplar como un caso particular de un esquema o concepto requiere reconocer si dicho ejemplar contiene o no dichos rasgos. Otro enfoque, en cambio, plantea que un concepto está constituido más bien por ejemplares que comparten cierta semejanza entre sí (Goldstone et al., 2018).

Finalmente, cabe hacer referencia al papel que juega en el aprendizaje el proceso de regeneración neuronal. Ciertas zonas del hipocampo y de la corteza prefrontal cuentan, incluso en el adulto, con la capacidad de regenerar sus células. En el caso de la corteza frontal, la generación de nuevas neuronas se realiza en la zona ventricular-subventricular de la corteza prefrontal y en el caso del hipocampo, se trata de la zona subgranular del giro dentado (Molina-Navarro & García-Verdugo, 2016). Este proceso de neurogénesis en el giro dentado ha sido comprobado incluso en humanos y ocurre a lo largo de la vida del individuo, aunque disminuye con la edad.

Algunos de los investigadores pioneros en el estudio de la generación de nuevas neuronas mostraron, además, cómo este proceso estaba relacionado con el aprendizaje (Molina-Navarro & García-Verdugo, 2016). En resumen, y como señalan Merkley y Wojtowicz (2016), las nuevas neuronas experimentan, por unos pocos meses después de su nacimiento, momentos de hiperplasticidad en determinados períodos críticos, durante los cuales experimentan cambios en algunas de sus funciones. Es en esas condiciones que tales neuronas pueden servir para modificar los circuitos neuronales. Durante dichos períodos críticos, tales neuronas son susceptibles a estimulación fisiológica o conductual. Transcurrido ese período, tales neuronas exhibirán el usual estado de plasticidad. Ciertas observaciones indican que el entrenamiento en determinadas tareas aumenta la supervivencia de neuronas generadas después del nacimiento y, este proceso, a su vez, puede facilitar un buen desempeño posterior en tales tareas (e. g., Tashiro et al., 2007).

Efectos de la privación del sueño en las estructuras neurales

Como ya se mencionó, los efectos de la privación del sueño sobre la memoria y el aprendizaje pueden ser investigados disponiendo la tarea de aprendizaje antes o después del período sin dormir. Y como se verá a continuación, en ambos casos los efectos adversos de dicha privación están mediados fuertemente por el impacto causado en el hipocampo.

Estudios en roedores y en humanos muestran los efectos adversos de la privación de sueño antes del aprendizaje. Por ejemplo, estudios en roedores empleando procedimientos de condicionamiento clásico del temor mostraron que los sujetos privados de sueño responden menos al contexto del

condicionamiento (la cámara experimental) que los no privados. Estos hallazgos indican un efecto sobre el hipocampo, ya que se conoce que la memoria de contextos depende de esta estructura (Kreutzmann et al., 2015). Los efectos adversos de la privación del sueño antes del aprendizaje también se han demostrado en humanos. Por ejemplo, Yoo et al. (2007) evaluaron los efectos de la privación del sueño sobre la formación de recuerdos episódicos en humanos privados de sueño durante una noche completa. Los participantes mostraron un déficit del 19% de reconocimiento de las imágenes memorizadas y, significativamente, se mostró una disminución notable de la actividad del hipocampo durante la fase de procesamiento de la información. Los autores explicaron que la disminución de esta actividad causó el déficit en el posterior desempeño en la tarea de reconocimiento. Así, la falta de sueño perturba la función del hipocampo, lo cual ocasiona un déficit en la capacidad para fijar nuevos conocimientos, efecto que, a su vez, es regulado por la alteración del funcionamiento prefrontal. Estos y otros resultados similares no podrían ser explicados solamente como resultado de una baja atención y motivación luego de un período sin dormir, ya que algunas tareas cuyo procesamiento no depende del hipocampo, no se ven igualmente afectadas por la privación de sueño (Kreutzmann et al., 2015).

La privación del sueño después del aprendizaje también genera impactos negativos en el hipocampo que se traducen en un desempeño posterior deficiente. La evidencia disponible sugiere que la consolidación de memoria que depende del hipocampo se ve afectada dependiendo del tiempo transcurrido entre el momento del entrenamiento y el momento en que se produce la

deprivación del sueño (Kreutzmann et al., 2015). Esto se hizo evidente en el aprendizaje de tareas que requieren orientación espacial, tales como actividades que requieren guiarse de la ubicación de objetos en el entorno o recordar la ubicación ya conocida de determinados objetos en el ambiente. El empleo de algunas tareas en roedores muestra que hay un “período crítico” de una a tres horas después del entrenamiento, en que la privación de sueño disminuye la consolidación de la memoria mediada por el hipocampo. Los estudios en humanos arrojan resultados comparables a los obtenidos en animales. Por ejemplo, sujetos que padecen de insomnio muestran un desempeño pobre en tareas de memoria declarativa (las cuales, como se mencionó, dependen del hipocampo), en comparación con personas que no padecen de insomnio, aunque no se encuentra diferencia entre ambos grupos en el aprendizaje de una tarea motora, no mediada por el hipocampo (Backhaus et al., 2006). Estos resultados conducen a Kreutzmann et al. (2015) a concluir que el hipocampo es quizá más vulnerable a la privación del sueño que otras estructuras; señalando, además, un efecto de período crítico en humanos, en la medida que la mayor pérdida de lo aprendido ocurre durante la privación del sueño en la primera noche después del aprendizaje, pero esa pérdida es mucho menor si la privación ocurre en los siguientes días.

La privación del sueño impacta negativamente en los PLP en el hipocampo (Kreutzmann et al., 2015). Como se indicó, el PLP constituye el mecanismo de formación de nuevos recuerdos en el hipocampo, a través de la plasticidad neuronal. La magnitud de este efecto negativo parece depender tanto de la duración de la privación, como de la etapa del sueño que es suprimida. Cuanto

mayor es la duración de la privación, es más fuerte dicho efecto; sin embargo, no se requiere de largos períodos sin dormir para que la plasticidad neuronal quede muy deteriorada.

La privación del sueño también tiene un impacto negativo en la regeneración neuronal y, por consiguiente, en el aprendizaje. La privación parcial de sueño incide negativamente en la generación de células que resulta de tareas de aprendizaje que dependen del hipocampo (Hairston et al., 2005). Y aunque la pérdida de sueño por una sola noche tiene poco efecto en esa capacidad regenerativa, una pérdida crónica de sueño tiene efectos acumulativos, conduciendo a una reducción del proceso de generación neuronal (Roman et al., 2005). Como indican Reynolds y Banks (2010), algunos investigadores han sugerido que la reducción en este proceso de neurogénesis está relacionada con una disminución en el sueño REM. Es probable que estos efectos dañinos estén mediados por factores de estrés y glucocorticoides (Mirescu et al., 2006).

Finalmente, Murzur et al. (2002) observaron una disminución de la actividad de las regiones frontales del cerebro luego de una privación total. Evidentemente, estos efectos explican los déficits de desempeño cognitivo tras un período de falta de sueño.

V. CONCLUSIONES

1. La consolidación de la memoria es el proceso en que la información recién adquirida se transforma en contenidos permanentes, pero este proceso solo puede completarse durante un determinado intervalo de tiempo después de que la información ha sido adquirida o codificada.
2. Tanto el sueño REM como el NREM son decisivos para favorecer la consolidación de distintos tipos de contenidos en la memoria. El sueño NREM está asociado con la consolidación de aprendizajes declarativos y no declarativos, mientras que el sueño REM está relacionado principalmente con la memoria procedimental, la solución de problemas y el pensamiento creativo.
3. El sueño es igualmente importante para preparar al cerebro para una próxima actividad de aprendizaje.
4. La privación aguda total del sueño (dejar de dormir toda una noche), o la privación parcial crónica (hábito de dormir menos horas de las recomendables) tienen impactos adversos en varios procesos cognitivos como la atención, la velocidad de procesamiento y la toma de decisiones, entre otros.
5. La privación del sueño anterior al aprendizaje afecta a la fase de adquisición y procesamiento de la nueva información, en tanto que la privación posterior al aprendizaje afecta a la consolidación.
6. Los estudios de campo en humanos acerca de la influencia de la privación del sueño sobre el rendimiento académico muestran en general efectos pequeños, aunque significativos. Los pequeños tamaños de efecto

observados podrían deberse a factores metodológicos en los estudios realizados.

7. El hipocampo es una estructura fundamental para elaborar una representación unificada de la experiencia a ser recordada y para transferir información de la memoria a corto plazo a la memoria a largo plazo y para el procesamiento cognitivo complejo. Asimismo, la comunicación del hipocampo hacia la corteza prefrontal contribuye a la consolidación de la memoria, pero la información que va desde la corteza prefrontal contribuye selectivamente a la recuperación de recuerdos en el hipocampo. Además, los recuerdos son integrados en el neocórtex en redes neuronales que corresponderían a los esquemas cognitivos, que son estructuras sistemáticas de información acerca de los objetos y eventos y que permiten establecer inferencias predictivas acerca de nuevos objetos o eventos en la experiencia del individuo.
8. Ciertas zonas del hipocampo y de la corteza prefrontal cuentan con la capacidad de regenerar sus células. Este proceso de neurogénesis ha sido comprobado en diversas especies, incluyendo el ser humano y ocurre a lo largo de la vida del individuo, pero disminuye con la edad. Este proceso está muy vinculado al aprendizaje debido a la característica de hiperplasticidad que muestran las nuevas células en las etapas iniciales de su existencia.
9. La privación del sueño afecta adversamente el desempeño de tareas mediado por el hipocampo. Este efecto puede deberse al impacto negativo de la privación del sueño sobre el proceso de neurogénesis y sobre el proceso de potenciación a largo plazo (PLP).

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abel, T., Havekes, R., Saletin, J. M., & Walker, M. P. (2013). Sleep, plasticity and memory from molecules to whole-brain networks. *Current Biology*, *23*, R774-788. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2013.07.025>

Acosta, M. T. (2019). Sueño, memoria y aprendizaje. *Medicina (B. Aires)*, *79*, suppl.3, 29-32. <https://www.scielo.org.ar/pdf/medba/v79s3/v79s3a08.pdf>

Alger, S. E., & Payne, J. D. (2018). Sleep and memory. En: J. T. Wixted (Ed. Gen.), E. A. Phelps & L. Davachi (Eds. Vol.), *Stevens' handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience, Vol I* (4ta. Ed.) (pp. 101-143). Wiley.

Aly, M., & Moscovitch, M. (2010). The effects of sleep on episodic memory in older and younger adults. *Memory*, *18*, 327-334. <https://doi.org/10.1080/09658211003601548>

Antony, J. W., & Paller, K. A. (2017). Hippocampal contributions to declarative memory consolidation during sleep. En D. E. Hannula & M. C. Duff (Eds.). *The hippocampus from cells to systems* (pp. 245-280). Springer.

Aserinsky, E., & Kleitman, N. (1953). Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep. *Science*, *118*(3062), 273-274. <https://doi.org/10.1126/science.118.3062.273>

Backhaus, J., Junghanns, K., Born, J., Hohaus, K., Faasch, F., & Hohagen, F. (2006). Impaired declarative memory consolidation during sleep in patients with primary insomnia: influence of sleep architecture and nocturnal cortisol release. *Biological Psychiatry*, *60*, 1324-1330. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.03.051>

Banks, S., & Dinges, D. F. (2007). Behavioral and physiological consequences of sleep restriction. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 3(5), 519-528. <https://doi.org/10.5664/jcsm.26918>

Banks, S., Dorrian, J., Basner, M., Kaizi-Lutu, M., & Dinges, D. F. (2022). Sleep deprivation. En M. Kryger, T. Roth, C. A. Goldstein, & W. C. Dement (Eds.). *Principles and practice of sleep medicine* (7ma. Ed.) (pp. 46-51). Elsevier.

Castro, L., & Wasserman, E. A. (2017). Perceptual and abstract category learning in pigeons. En H. Cohen, & C. Lefebvre (Eds.), *Handbook of categorization in cognitive science* (pp. 709-732). Elsevier.

Cirelli, C., & Tononi, G. (2008). Is sleep essential? *PLoS Biology*, 6(8),1605–1611. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060216>

Dewald, J. F., Meijer, A. M., Oort, F. J., Kerkhof, G. A., & Bogels, S. M. (2010). The influence of sleep quality, sleep duration and sleepiness on school performance in children and adolescents: a meta-analytic review. *Sleep Medicine Reviews*, 14(3), 179-189. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2009.10.004>

Farzanfar, D., Spiers, H. J., Moscovitch, M., & Rosenbaum, S. (2023). From cognitive maps to spatial schemas. *Nature Reviews Neuroscience*, 24, 63-79. <https://doi.org/10.1038/s41583-022-00655-9>

Fogel, S. M., Smith, C. T., & Cote, K. A. (2007). Dissociable learning-dependent changes in REM and non-REM sleep in declarative and procedural memory systems. *Behavioural Brain Research*, 180(1), 48-61. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2007.02.037>

Fogel, S., Smith, C., & Peigneux, P. (2022). Memory processing in relation to sleep. En: M. Kryger, T. Roth, C. A. Goldstein, & W. C. Dement (Eds.). *Principles and practice of sleep medicine* (7ma. Ed.) (pp. 311-320). Elsevier.

Goldstone, R. L., Kersten, A., & Carvalho, P. F. (2018). Categorization and concepts. En S. L. Thompson-Schill (Ed. Vol) & J. T. Wixted (Ed. Gen.), *Stevens' handbook of experimental psychology and cognitive neuroscience. Vol. 3: Language and thought* (4ta. ed., pp. 275-318). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9781119170174.epcn308>

Gradisar, M., Gardner, G., & Dohnt, H. (2011). Recent worldwide sleep patterns and problems during adolescence: A review and meta-analysis of age, region, and sleep. *Sleep Medicine*, 12, 110-118.
<https://doi.org/10.1016/j.sleep.2010.11.008>

Gulevich, G., Dement, W. C., & Johnson, L. (1966). Psychiatric and EEG observations on a case of prolonged (264 Hours) wakefulness. *Archives of General Psychiatry*. 5(1), 29-35.
<http://doi.org/10.1001/archpsyc.1966.01730130031005>

Hairston, I. S., Little, M. T., Scanlon, M. D., Barakat, M. T., Palmer, T. D., & Sapolsky, R. M., & Heller, H. C. (2005). Sleep restriction suppresses neurogenesis induced by hippocampus-dependent learning. *Journal of Neurophysiology*, 94, 4224-4233. <https://doi.org/10.1152/jn.00218.2005>

Hyman, J. M., Ma, L., Balaguer, E., Durstewitz, D., & Seamans, J. K. (2012). Contextual encoding by ensembles of medial prefrontal cortex neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 5086-5091.
<https://doi.org/10.1073/pnas.111441510>

Jacobs J., & Kahana, M. J. (2010). Direct brain recordings fuel advances in cognitive electrophysiology. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(4),162-171. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.005>

Jacobs, J., Lega, B., & Watrous, A. J. (2017). Human hippocampal theta oscillations: Distinctive features and interspecies commonalities. En D. E. Hannula & M. C. Duff (Eds.), *The hippocampus from cells to systems. Structure, connectivity, and functional contributions to memory and flexible cognition* (pp. 37-68). Springer.

Jensen, O., Kaiser, J., & Lachaux, J. (2007). Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory. *Trends in Neurosciences*, 30(7),317-324. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.05.001>

Kreutzmann, J. C., Havekes, R., Abel, T., & Meerlo, P. (2015). Sleep deprivation and hippocampal vulnerability: changes in neuronal plasticity, neurogenesis and cognitive function. *Neuroscience*, 309, 173-190. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.04.053>

Léger, D., Poursain, B., & Neubauer D., & Uchiyama, M. (2008). An international survey of sleeping problems in the general population. *Current Medical Research and Opinions*, 24(1), 307-317. <https://doi.org/10.1185/030079907X253771>

Liew, S. C., & Aung, T. (2021). Sleep deprivation and its association with diseases – a review. *Sleep Medicine*, 77, 192-204. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2020.07.048>

- Lo, J. C., Chong, P. L., Ganesan, S., Leong, R. L., & Chee MW. (2016). Sleep deprivation increases formation of false memory. *Journal of Sleep Research*, 25(6):673-682. <https://doi.org/10.1111/jsr.12436>
- Mary, A., Schreiner, S., & Peigneux, P. (2013). Accelerated long-term forgetting in aging and intra-sleep awakenings. *Frontiers in Psychology*, 4, 750. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00750>
- Mercer, P. W., Merritt, S. L., & Cowell, J. M. (1998). Differences in reported sleep need among adolescents. *Journal of Adolescent Health*, 23(5), 259-263. [https://doi.org/10.1016/S1054-139X\(98\)00037-8](https://doi.org/10.1016/S1054-139X(98)00037-8)
- Merkley, C. M., & Wojtowicz, J. M. (2016). Learning and memory. En J. J. Canales (Ed.), *Adult neurogenesis in the hippocampus. Health, psychopathology, and brain disease* (pp. 57-73). Elsevier.
- McNamara, P. (2023). *The neuroscience of sleep and dreams* (2da. Ed.). Cambridge University Press.
- Mirescu, C., Peters, J. D., Noiman, L., & Gould, E. (2006). Sleep deprivation inhibits adult neurogenesis in the hippocampus by elevating glucocorticoids. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 19170–19175. <https://doi.org/10.1073/pnas.0608644103>
- Molina-Navarro, M. M., & García-Verdugo, J. M. (2016). Neurobiology. En J. J. Canales (Ed.), *Adult neurogenesis in the hippocampus. Health, psychopathology, and brain disease* (pp. 1-17). Elsevier.
- Pérez, M. L., Machado, J. A., Lavado, V., & Pimiento, D. C. (2024). Sleep and learning: A systematic review. *International Archives of Otorhinolaryngology*, 28(04), e657-e661. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1777294>.

Plihal, W., & Born, J. (1999). Effects of early and late nocturnal sleep on priming and spatial memory. *Psychophysiology*, 36, 571-582.
<https://doi.org/10.1111/1469-8986.3650571>

Pliszka, S. R. (2016). *Neuroscience for the mental health clinician* (2da. Ed.). The Guilford Press.

Poe, G. R., Walsh, C. M., & Bjorness, T. E. (2010). Cognitive neuroscience of sleep. En G. A. Kerkhof & H. P. A. Van Dongen (Eds.), *Human sleep and cognition. Part 1: Basic research* (pp. 1-19). Elsevier.

Preston, A. R., & Eichenbaum, H. (2013). Interplay of hippocampus and prefrontal cortex in memory. *Current Biology*, 23, R764-R773.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2013.05.041>

Ranganath, C., & Ritchey, M. (2012). Two cortical systems for memory-guided behaviour. *Nature Reviews Neuroscience*, 13, 713-726.
<https://doi.org/10.1038/nrn3338>.

Reynolds, A. C., & Banks, S. (2010). Total sleep deprivation, chronic sleep restriction and sleep disruption. En G. A. Kerkhof & H. P. A. Van Dongen (Eds.), *Human sleep and cognition. Part 1: Basic research* (pp. 91-103). Elsevier.

Roman, V., Van der Borght, K., Leemburg, S. A., Van der Zee, E. A., & Meerlo, P. (2005). Sleep restriction by forced activity reduces hippocampal cell proliferation. *Brain Research*, 1065, 53-59.
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2005.10.020>

Saadat H. (2021). Effect of inadequate sleep on clinician performance. *Anesthesia & Analgesia*, 32(5), 1338-1343.

<https://doi.org/10.1213/ANE.00000000000005369>

Seoane, H. A., Moschetto, L., Orliacq, F., Orliacq, J., Serrano, E., Cazenave, M. I., Vigo, D. E., & Perez-Lloret, S. (2020). Sleep disruption in medicine students and its relationship with impaired academic performance: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Medicine Reviews*, 53, 101333.

<https://doi.org/10.1016/j.smr.2020.101333>

Siegel, J. M. (2022). Introduction/Defining sleep. En M. Kryger, T. Roth, C. A. Goldstein, & W. C. Dement (Eds.). *Principles and practice of sleep medicine* (7ma. Ed.) (pp. 52-53). Elsevier.

Smith, C. T., & MacNeill, C. (1994). Impaired motor memory for a pursuit rotor task following Stage 2 sleep loss in college students. *Journal of Sleep Research*, 3, 206-213. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.1994.tb00133.x>

Stickgold, R., Whidbee, D., Schirmer, B., Patel, V., & Hobson, J. A. (2000). Visual discrimination task improvement: a multi-step process occurring during sleep. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 246–254.

<https://doi.org/10.1162/089892900562075>

Suardiaz-Muro, M., Morante-Ruiz, M., Ortega-Moreno, M., Ruiz, M. A., Martín-Plasencia, P., & Vela-Bueno, A. (2020). Sleep and academic performance in university students: A systematic review. *Revista de Neurología*, 71, 43-53. <https://doi.org/10.33588/RN.7102.2020015>

Sullivan, S. S., Carskadon, M. A., Dement, W. C., & Jackson, C. L. (2022). Normal human sleep: An overview. En M. Kryger, T. Roth, C. A. Goldstein, &

W. C. Dement (Eds.). *Principles and practice of sleep medicine* (7ma. Ed.) (pp. 16-26). Elsevier.

Tashiro, A., Makino, H., & Gage, F. H. (2007). Experience-specific functional modification of the dentate gyrus through adult neurogenesis: a critical period during an immature stage. *The Journal of Neuroscience*, *27*, 3252–3259. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4941-06.2007>

Van Dongen, H. P.A., Maislin, G., Mullington, J.M., & Dinges, D. F. (2003). The cumulative cost of additional wakefulness: dose-response effects on neurobehavioral functions and sleep physiology from chronic sleep restriction and total sleep deprivation. *Sleep*, *26*(2),117-126. <https://doi.org/10.1093/sleep/26.2.117>

Van Dongen, H. P. A., Vitellaro, K. M., & Dinges, D. F. (2005). Individual differences in adult human sleep and wakefulness: Leitmotif for a research agenda. *Sleep*, *28*, 479-496. <https://doi.org/10.1093/sleep/28.4.479>

Walker, M. P., & Stickgold, R. (2006). Sleep, memory, and plasticity. *Annual Review of Psychology*, *57*, 139-166. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070307>

Watson, N. F., Badr, M. S., Belenky, G., Bliwise, D. L., Buxton, O.M., Buysse D., Dinges, D. F., Gangwisch, J., Grandner, M. A., Kushida, C., Malhotra, R. K., Martin, J. L., Patel, S. R., Quan, S. F., & Tasali, E. (2015). Recommended amount of sleep for a healthy adult: a joint consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society. *Sleep*, *11*(6), 591-592. <https://doi.org/10.5664/jcsm.4758>

Yoo, S. S., Hu, P. T., Gujar, N., Jolesz, F. A., & Walker, M. P. (2007). A deficit in the ability to form new human memories without sleep. *Nature Neuroscience*, *10*, 385-392. <https://doi.org/10.1038/nn1851>

VII. ANEXOS

ANEXO 1

<https://revistas.unife.edu.pe/index.php/aletheia/article/view/1114/1052>

Breves conceptos del aprendizaje en Neurociencias

Brief concepts of learning in neuroscience

Aguilar, LA^{1,2}, Montenegro E², Salazar G², Salinas S¹, Astucuri J¹, Gonzales, A.^{1,2}

RESUMEN.

La neurociencia es una disciplina científica que busca comprender las interrogantes de la organización del sistema nervioso y su manifestación externa, es decir la conducta. Las recientes investigaciones en neurociencia cognitiva son de gran interés para el educador, el desafío hoy es comprender las diferencias estructurales de un cerebro en desarrollo y las alteraciones que ocurren en un ambiente de aprendizaje. Desde la perspectiva neurocientífica, las conexiones que se han establecido en el sistema nervioso son producto de las experiencias, el medio y los conocimientos previos. El proceso de aprendizaje es un cambio relativamente permanente en la capacidad de ejecutar una conducta específica consecuencia de la experiencia, así mismo, conlleva a la modificación a nivel cognitivo (mapas cognitivos) y a generar cambios de las redes neurales en el sistema nervioso. Entendiendo esto, el modo de aprender y aprehender de los estudiantes se encuentra en constante transformación, un claro ejemplo en la actualidad es el estudio de las tecnologías de la información y su repercusión en el aprendizaje, estos han permitido el uso de entornos virtuales, trabajos con animación y simulación, creación de recursos y material digital, plataformas con orientación pedagógica, entre otros. El reto principal es potenciar estrategias para el desarrollo de habilidades cognitivas, socio ambientales y relacionales en el proceso de enseñanza-aprendizaje desde las neurociencias.

ABSTRACT. Neuroscience is a scientific discipline that seeks to understand the questions of organization of the nervous system and its external manifestation, behavior. Recent research in cognitive neuroscience are of great interest to the educator, the challenge today is to understand the structural differences of the developing brain and alterations that occur in a learning environment. From the neuroscience perspective, the connections that have been established in the nervous system are the product of experience, means and prior knowledge. The process of learning is a relatively permanent change in the ability to perform a specific behavior because of the experience, also, it leads to changes at the cognitive level (cognitive maps) and generate changes of neural networks in the nervous system. Understanding this, the way to learn and grasp of the students is in constant transformation, a clear example today is the study of information technologies and their impact on learning, these have enabled the use of virtual environments, jobs animation and simulation, creating digital material resources and platforms with pedagogical orientation, among others. The main challenge is to promote strategies for the development of cognitive skills, environmental and relational partner in the process of teaching and learning from neuroscience.

Recibido: 06-06-2016
Aceptado: 21-06-2016

Palabras clave:

Neurociencias, aprendizaje, memoria, neuroplasticidad.
Keywords: Neuroscience, learning, memory, neuroplasticity.

Luis Aguilar
UPCH – UNIFE
luis.aguilar@upch.pe
Carmen Estela Montenegro
Serkovic
carmen.montenegro@upch.pe
UPCH
Geraldine Salazar
geraldine.salazar@upch.pe
UPCH
Silvia Salinas
nutriunife@yahoo.com
UNIFE

Introducción

El sistema nervioso tiene dos tipos de células: las neuronas y las células gliales. La neurona es la célula característica, que tiene la función principal de recibir y transmitir información, mientras que las células gliales cumplen la función de sostén del tejido nervioso, así como otras funciones nutricionales y de facilitación de la comunicación neuronal. Cabe mencionar también que las neuronas tienen una variedad morfológica (hay de diversos tamaños y formas) que se acompañan también de una gran variedad de capacidad funcional, lo que proporciona múltiples posibilidades al individuo, como la de realizar comportamientos distintos y con un alto grado de precisión (Purves y cols., 2007).

En el cerebro existen alrededor de 80 mil millones de neuronas, cada una de ellas se conecta y comunica con otras neuronas. Dicha comunicación se conoce como sinapsis, lo cual se produce entre la neurona que envía información y la que recibe dicha información (sinapsis química o eléctrica). En la sinapsis química, la neurona que envía la información (denominada neurona presináptica) libera sustancias químicas (que pueden ser neurotransmisores o neuropéptidos), esta sustancia es captada por los receptores de la neurona postsináptica. Es esta unión la que pone en marcha las cascadas de señales químicas que elaborarán una determinada respuesta neuronal en forma de cambios de la neurona postsináptica (Coveñas y Aguilar, 2010). La comunicación sináptica forma una serie de redes neuronales funcionales y éstas, a la vez, circuitos que caracterizan participación de grupos neuronales y áreas con características fisiológicas propias como, por ejemplo, circuito de la memoria a largo plazo, circuito de Papéz, entre otros. Estas redes o cognitos siguen gradientes filogenéticos, ontogénicos, que se organizan en jerarquías de dos tipos: Jerarquía Perceptual donde se encuentra la memoria autobiográfica o episódica, conocimiento semántico con base

neurofisiológica en la corteza cerebral posterior y áreas asociativas posteriores, y Jerarquía Ejecutiva para realizar los planes de conducta con base neurofisiológica, áreas motoras frontales y corteza prefrontal (Fuster, 2010). Este paradigma reticular (redes neurales y cognitos) nos obliga a abandonar los modelos tradicionales “modulares o geográficos” de la memoria cortical y ver las implicaciones en el desarrollo cognitivo, clínica de lesiones corticales y rehabilitación del individuo.

Durante mucho tiempo se consideró que el sistema nervioso era una estructura que, anatómicamente, no sufría cambios, es decir que no se producían nuevas neuronas y tampoco nuevas conexiones una vez que el sistema concluyera su desarrollo embrionario. En definitiva, se consideraba que el sistema nervioso era una entidad terminada, posible de cambio sólo por lesión o degeneración irreparable por su propia naturaleza. Esto fue lo que Santiago Ramón y Cajal planteó. Sin embargo, él mismo se aseguró de decir que sólo la ciencia se encargaría de cambiar “este cruel decreto” (Ramón y Cajal, 1991, citado por Álvarez-Buylla & Lois, 1995).

Actualmente, el concepto de neuroplasticidad es la que sustenta la nueva visión de que el sistema nervioso se encuentra en constantes modificaciones dinámicas en sus propiedades, en respuesta a cambios en su ambiente. Esta noción es fundamental hoy en día para comprender las propiedades del sistema nervioso, el cual también nos permite comprender procesos, aparentemente disímiles, como el de aprendizaje y la recuperación de funciones tras una lesión cerebral. De acuerdo con el concepto de neuroplasticidad, el sistema nervioso es un producto nunca terminado, es el resultado, siempre cambiante por la interacción de factores genéticos, epigenéticos y ambientales (Clarke, Cammarota, Gruart, Izquierdo & Delgado-García, 2010).

Por otro lado, el aprendizaje y la memoria son estados funcionales para los que se requiere la participación de numerosas estructuras nerviosas

y la correcta activación temporal entre ellas, y que no son procesos puntuales que ocurren en un sitio cerebral determinado. Por ello, el aprendizaje va a depender de muchos factores, como el estado motivacional y emocional del individuo que aprende, de su grado de atención, de sus conocimientos y habilidades previas, así como de sus receptores sensoriales y del estado de sus músculos, dependiendo del tipo de tarea que vaya a ejecutar.

Además, la memoria, y en consecuencia el aprendizaje, es una de las capacidades intelectuales que requiere del correcto funcionamiento de varias áreas del cerebro, en parte debido a la variedad de conceptos y actos motores a recordar, así como la relación entre ellos. La experiencia personal refuerza la idea de que no se recuerda con la misma intensidad, por ejemplo, nombres, caras, lugares, etc.

Asimismo, aprender y memorizar también requiere de la maduración de las estructuras nerviosas. De hecho, el niño va adquiriendo nuevas habilidades a medida que su cerebro se lo permite. Las áreas del sistema nervioso relacionadas con el movimiento son las primeras en consolidarse, por lo que es más fácil aprender comportamientos motores, como nadar o ir en bicicleta, y también recordarlos a lo largo de la vida (Gruart, 2008).

Naturaleza del aprendizaje

Se puede definir al aprendizaje como la capacidad de cambiar la conducta como fruto de la experiencia, permitiendo que un individuo se adapte a nuevas situaciones ambientales y sociales. Denominamos aprendizaje al hecho de que la experiencia produce cambios en el sistema nervioso, cambios que pueden ser duraderos y se manifiestan en el comportamiento de los organismos. Un fenómeno generalmente inferido a partir de esos cambios es la memoria, la cual va dando a nuestras vidas un sentido de continuidad (Morgado, 2005).

Dicho de otra forma, el aprendizaje es un cambio relativamente permanente en la conduc-

ta como consecuencia de la experiencia que a su vez implican cambios en el sistema nervioso y la memoria, es un fenómeno generalmente inferido a partir de esos cambios (Morgado-Bernal, 2005) que constituye esa información, que después de aprendida, se mantiene en el sistema nervioso por un tiempo.

El hecho de que la conducta sea modificable en función de las condiciones ambientales es posible gracias a una compleja serie de procesos que tiene lugar en el interior del organismo. Asimismo, la adaptación de una conducta al ambiente está mediada por procesos perceptivos, cognitivos y de organización motora. Esto significa que el cerebro procesa los estímulos del ambiente, compara el resultado de ese procedimiento con el anterior y organiza la respuesta motora a esos estímulos (Aguado-Aguilar, 2001).

El estudio experimental del aprendizaje y la memoria se han abordado desde tres niveles distintos, cada uno de estos niveles se complementan para entender mejor estos importantes procesos. El más básico es el nivel neuronal, su finalidad es descubrir los procesos celulares y moleculares físicos y químicos en el cerebro que subyacen al aprendizaje y la memoria. Se estudian los procesos neuronales, vías y centros cerebrales, que intervienen en distintas formas de aprendizaje y memoria.

Asimismo, a este nivel se abordan los mecanismos neuronales por el cual el cerebro es capaz de almacenar información. En este punto es clave mencionar el concepto de plasticidad neuronal, que se refiere a la capacidad de las neuronas para modificar sus propiedades funcionales en respuesta a ciertas pautas de estimulación ambiental.

Las investigaciones de la plasticidad neural en relación con el aprendizaje y la memoria estudian el modo en que el cerebro codifica físicamente nuevas informaciones y constituye uno de los objetivos principales de las neurociencias. El nivel siguiente es el conductual, donde el interés principal es descubrir relaciones entre variables ambientales y cambios observables en la conducta. El método

para someter a un análisis experimental dichas relaciones, pasa necesariamente por la observación del comportamiento del sujeto y de las modificaciones que éste experimenta bajo diferentes condiciones externas. Finalmente tenemos el nivel cognitivo, en donde se considera al cerebro como un sistema de procesamiento de información, y trata de indagar las actividades de procesamiento que tienen lugar durante el curso del aprendizaje y del modo en que la información queda representada en la memoria (Aguado-Aguilar, 2001).

En el nivel cognitivo, al igual como ocurren en el nivel neuronal, su procesamiento es interno, no son directamente observables como las conductas; y, por tanto, se infieren a partir de las observaciones de la conducta que manifiesta el individuo.

Los procesos cognitivos como la memoria, la expectativa, el razonamiento y otros, no son observados en sí mismos, sino que inferidos a partir de las actividades conductuales del individuo. Generalmente, en este nivel de estudio, cuando se habla aprendizaje y memoria, se estudia el proceso de formación de nuevas representaciones mentales derivados de experiencias pasadas o de las actividades de procesamiento llevadas a cabo sobre los propios contenidos de la memoria, como la recuperación de información, el olvido, entre otros.

El aprendizaje es una capacidad que todas las especies tienen, ya que constituye un mecanismo fundamental de adaptación al medio ambiente. Sin embargo, la adquisición de comportamientos para cada especie puede realizarse mediante formas básicas de aprendizaje, mientras que los comportamientos complejos se adquieren por múltiples combinaciones de estas formas básicas (Gruart, 2008; Morgado, 2005; Aguado-Aguilar, 2001).

El aprendizaje espacial es un cambio en la conducta de búsqueda de un lugar determinado y la memoria espacial se relacionan con la capacidad de adquirir y retener asociaciones de las características del ambiente, lo que permite al organismo desenvolverse en el espacio.

El aprendizaje perceptivo es el que permite reconocer las características de un objeto o de una persona. Así podemos reconocer un automóvil por su forma o el ruido que produce su motor. Este tipo de aprendizaje también puede extenderse a aprendizaje motor, cuando el conocimiento del entorno se acompaña de una acción, es decir, cuando aparte de reconocer al auto por su forma y el ruido de su motor, aprendemos a conducirlo. El aprendizaje asociativo requiere de la asociación entre dos estímulos (condicionamiento clásico), o bien la asociación entre una respuesta y sus consecuencias (condicionamiento operante o instrumental).

El condicionamiento clásico fue descrito por Iván Pavlov a partir de una serie de experimentos, donde demostró que se podía asociar un sonido a la presencia de comida, de manera que el perro empezaba a salivar con la sola presencia del sonido y antes de que la comida llegara a su boca. El aprendizaje mediante condicionamiento operante, en cambio, explica cómo se aprende en situaciones concretas; es decir, una determinada conducta es reforzada de forma positiva o negativa, de manera que incremente o disminuya la probabilidad de su ocurrencia. Los refuerzos dependerán de la situación y de las preferencias del individuo, por ejemplo, un niño que participa en clase y es reforzado socialmente, mediante reconocimiento público por la maestra, ante sus compañeros, probablemente, repita su conducta de participación en las próximas veces (Gruart, 2008).

El aprendizaje relacional es la forma más compleja de los tipos de aprendizaje básico, y éste supone el reconocimiento de objetos, su localización espacial y la secuencia de acontecimientos en una determinada situación. Por ejemplo, no solamente podemos conducir un automóvil, sino que también podemos hacerlo en direcciones diversas y siguiendo las señales de tránsito que se han aprendido previamente (Gruart, 2008).

Algunas teorías relevantes sobre el aprendizaje son la teoría psicoanalítica (Sigmund Freud)

donde se afirma que las impresiones recibidas en los primeros años de vida dirigen la conducta futura en la vida adulta; y la teoría cognoscitiva del aprendizaje (Jerome Bruner y David Ausubel) que centra su estudio en las actividades mentales y los procesos cognitivos, y trata de explicar los procesos de pensamiento que mediatizan la relación estímulo-respuesta.

El aprendizaje y la memoria permiten a los animales interactuar con más éxito frente a las variaciones impredecibles del ambiente, al recordar se puede encontrar soluciones más eficaces cuando las experiencias se repitan a futuro. Se entiende que memoria son los eventos moleculares y celulares que hacen posible que el establecimiento de la información de una experiencia dada (Kandel et al., 2000). Por otra parte, la memoria constituye esa información que después de aprendida se mantiene en el sistema nervioso por un tiempo variable (Kandel et al., 2000).

Existen diferentes tipos de memoria, y una de las formas más utilizadas para clasificarlas es por su duración y contenido. Por su duración, la memoria se clasifica como sensorial, corto plazo y de largo plazo, si se torna relativamente estable. El paso de una a la otra requiere una fase intermedia entre la memoria a corto plazo y largo plazo, denominada de consolidación, fase que ocurre cuando el individuo duerme.

La memoria a corto plazo o retención consciente de una información durante un tiempo breve se basa en cambios efímeros, eléctricos o moleculares, en las redes neurales implicadas. Pero, si como consecuencia de la repetición de la experiencia tales cambios persisten, pueden activar la maquinaria anteriormente descrita y dar lugar a síntesis de nuevas proteínas y cambios estructurales. Esto se considera un indudable diálogo entre los genes y la sinapsis (Gruart, 2008). La memoria de corto plazo es muy limitada en contener la información, como en el tiempo a disposición de la misma, pero con la práctica uno puede incrementarla.

Por su contenido, la memoria es implícita o explícita. La memoria implícita también es llamada procedimental o no declarativa, y agrupa la información que nos permite ejercer hábitos cognitivos y motores, dicho de otra forma, es la memoria de las cosas que solemos hacer. Éste tipo de memoria suele ser rígida y duradera, se adquiere gradualmente y se perfecciona con la práctica. En su expresión es automática, inconsciente y difícil de verbalizar. Un ejemplo de este tipo de memoria es repetir unos pasos de baile o andar en bicicleta.

En cambio, la memoria explícita es la suma del almacenamiento cerebral de hechos (memoria semántica) y eventos (memoria episódica). La ejercemos, por ejemplo, al describir una serie de sucesos ocurridos en el pasado. En humanos, también se la conoce como memoria declarativa, puesto que es fácil de declarar verbalmente o por escrito, y se expresa conscientemente. (Morgado, 2005).

Algunos autores, añaden a la clasificación anterior, la memoria de trabajo, a veces conocida por Cognición ejecutiva. Este sistema de memoria consiste en la representación consciente y manipulación temporal de la información necesaria para realizar operaciones cognitivas complejas, como el aprendizaje, la comprensión del lenguaje o el razonamiento. Su expresión suele darse en tareas de respuesta demorada, por ejemplo, cuando un sujeto tiene que memorizar temporalmente cierta información que le permitirá responder más tarde adecuadamente ante una tarea. (Morgado, 2005).

Para integrar, teniendo en cuenta las formas de clasificación antes vistas, puede entenderse que dentro de la memoria a corto plazo se encuentra la memoria de trabajo (working memory), que es la memoria que utilizamos para mantener la continuidad de una tarea que nos hemos propuesto; y dentro de la memoria a largo plazo, se encuentran la memoria explícita e implícita. A su vez, la memoria explícita está compuesta por la memoria episódica, relacionada con los eventos de nuestra vida; y la memoria semántica que contiene la información de los conceptos y significados abstractos.

Neuroplasticidad

La importancia de las sinapsis en los procesos de almacenamiento de información se ha postulado desde la época de Ramón y Cajal en el siglo XIX y posteriormente en otros trabajos (Hebb, 1949; Matthies, 1986). Estos modelos atribuyen, por lo tanto, propiedades plásticas a las sinapsis y rompen con los conceptos iniciales que consideraban a las sinapsis inmutables en sus propiedades funcionales, como puntos de soldadura entre los componentes de un circuito eléctrico (Bergado-Rosado y Almaguer-Melian, 2000).

Don Santiago Ramón y Cajal, fue el primero en proponer la plasticidad en el número y fuerza de las conexiones neuronales como la base física del aprendizaje y el soporte de la memoria. Años después, desde la psicología, Donald Hebb propendría la plasticidad como el mecanismo por el que la coincidencia de la actividad pre y post-sináptica podría modificar las conexiones neurales en determinadas estructuras del cerebro.

Más tarde, dos investigadores, Lomo y Tim Bliss refrendaron experimentalmente los postulados de Hebb. Descubrieron que una estimulación de alta frecuencia en una misma vía nerviosa presináptica producía incrementos estables y duraderos de la respuesta postsináptica, el sostenimiento de dicha actividad postsináptica en largo tiempo fue denominado potenciación a largo plazo (LTP por sus siglas en inglés Long-Term Potentiation).

En adelante, estas investigaciones se convirtieron en un modelo mediante el cual se explicaban los mecanismos cerebrales de la memoria y el aprendizaje. En esta misma línea de investigación, se mostraron también que el aprendizaje y la LTP, artificialmente inducidos, producen cambios morfológicos en las espinas dendríticas, lo cual perfilaba un modelo importante para constituir la base estructural de la memoria (Bliss & Lomo, 1973).

Por otro lado, partiendo de los postulados de Hebb, otro investigador, John O'Keefe, mostró hallazgos importantes de cambios morfológicos a

nivel de las espinas dendríticas de las células del hipocampo en individuos que eran sometidos experimentalmente a aprendizajes de mapas cognitivos (O'Keefe & Nadel, 1978).

La actividad neuronal generada por interacciones con el mundo exterior en la vida postnatal proporciona un mecanismo por el cual el medio ambiente puede influir en la estructura y la función del sistema nervioso. Los efectos de la actividad neuronal, generalmente, se traducen a través de vías de señalización que modifican los niveles de calcio (Ca^{+2}) intracelular e influyen así en la organización del citoesqueleto local y en la expresión genética de las neuronas. Esta influencia es más importante durante las ventanas temporales denominadas períodos sensibles o críticos, a medida que procede la maduración de los individuos, el encéfalo se torna cada vez menos sensible a las lecciones de la experiencia, y los mecanismos celulares que modifican la conectividad neural se tornan menos eficaces (Hernández, Mulas & Matos, 2004; Morales, Rozas, Pancetti & Kirkwood, 2003).

Períodos sensibles

Un período sensible o crítico es definido como el tiempo durante el cual un comportamiento dado es especialmente susceptible a las influencias ambientales específicas y requiere de ellas para desarrollarse normalmente (Morales y cols., 2003).

Los ejemplos más comunes de este hecho son los relacionados a la visión, audición y el lenguaje. Por ejemplo, niños con cataratas perderán la visión en el ojo afectado (ambliopía), a menos que se les operen antes de llegar a la pubertad (Daw, 1995). De igual forma, el resultado positivo de un implante coclear es más alto cuando la operación se realiza a una edad temprana (Sharma, Dorman & Spahr, 2002). Otros estudios de visualización de la función cerebral indican que la respuesta 'disparada' por notas musicales es mucho mayor en músicos iniciados a temprana edad (Pantev, Enge-

lien, Candia & Elbert, 2001). La manifestación notable de plasticidad es la activación de la corteza visual primaria durante la lectura de Braille en ciegos que perdieron la visión en edad temprana (Sadato y cols., 1998).

En todos los casos documentados, tanto en humanos como en animales, el período sensible o crítico para inducir cambios corticales termina más o menos con la pubertad. Esta coincidencia temporal sugiere que los mecanismos de plasticidad son comunes en todas las distintas regiones corticales. Más aún, existe un consenso de que mecanismos similares de plasticidad podrían estar involucrados en el aprendizaje y la memoria en adultos, así como también la mayor capacidad de recuperación después de un trauma durante la infancia (Morales y cols., 2003). De lo anterior se desprende que el esclarecimiento de los mecanismos celulares de plasticidad neuronal en la corteza tiene importantes implicaciones terapéuticas para la restauración de funciones neuronales en el adulto (Ortiz y cols., 2010).

Una aproximación a la educación

La actividad educativa actual plantea la necesidad de formar puentes con diversas especialidades, sin embargo, los objetivos, métodos de estudio y aplicaciones de estrategias no son necesariamente similares en todos los campos. La neurociencia aplica un modelo desde las ciencias médicas para sus estudios, hablamos entonces de un aproximación positivista y cuantitativa, por otro lado, en la educación la búsqueda sigue un modelo cualitativo, donde la observación y el análisis a fondo interpretan un fenómeno. (Puebla & Talma, 2011).

Si bien los educadores no reciben una formación profesional en neurociencia, la colaboración entre neurociencia, educación y psicología han abierto nuevos campos de estudio, hoy tenemos colaboraciones a través de las neurociencias cognitivas, la psicología educativa y la psicología cognitiva.

El *Programa de enseñanza aprendizaje del Consejo de Investigación Económica y Social* o ESRC -TLRP por sus siglas en inglés, es un proyecto propuesto en el Reino Unido que ha ido modificándose y creando valiosos aportes en este campo, ha comprendido diversas fases desde 1999 hasta el 2012 cuando el programa paso a una nueva propuesta.

La primera fase estuvo vinculada con la revisión de las investigaciones más recientes sobre el cerebro hasta el 2002 llevado a cabo por científicos internacionales. La siguiente etapa estuvo bajo la colaboración de importantes instituciones de Estados Unidos, Francia y Japón, este trabajo colaborativo se extendió hasta el 2006 donde los temas de estudio fueron alfabetismo, aritmética y aprendizaje en relación a conceptos desde la neurociencia.

Entre 2005 y 2007, los esfuerzos de este grupo de trabajo se enfocaron en comenzar a integrar los procesos de investigación en el campo educativo como también en la generación de espacios virtuales, asesoramiento, creación de materiales y recursos en línea.

Durante el tiempo de ejecución de este proyecto se sumaron a la colaboración países como Argentina, Chile, México, Portugal, España, Irlanda, Singapur, China, Brasil, Austria, entre otros. Finalmente, en 2012 el programa pasó a ser el Programa Tecnología para la mejora del aprendizaje o TEL donde la búsqueda se centra en las tecnologías de la información y la comunicación, como pueden ser utilizadas para apoyar el aprendizaje y la enseñanza.

VII. Conclusiones

Los estudios desde la neurociencia y del sistema nervioso han creado una ruta para comprender con mayor precisión el aprendizaje, articulando conceptos de la biología, fisiología, psicología, entre otras disciplinas.

En la actualidad, se cuentan con diversas herramientas que permiten el estudio, registro y

evaluación de un cerebro inmerso en aprendizaje; resonancia magnética funcional, electroencefalografía, magnetoencefalografía o la tomografía por emisión de positrones. Nos permiten conocer más sobre las neuronas y su actividad, los neurotransmisores, las frecuencias de onda relacionadas a funciones cognitivas; funciones que no pueden ser observadas directamente, pero que son estudiadas desde la conducta manifiesta.

Nuestra tarea actual es aplicar estos hallazgos en una metodología de estudio y registro del aprendizaje en un contexto educativo. La labor del científico inmerso en la neurociencia es poder construir conceptos que permitan una comunicación fluida con los educadores, como también, conocer al detalle las inquietudes, dificultades y problemáticas que surgen en el contexto educativo.

Es importante reconocer que aún con el avance de estas disciplinas algunos conocimientos son limitados, por ello, la información impartida debe ser válida, su errónea aplicación o divulgación pueden llegar a tener más riesgos que beneficios para el estudiante o docente.

Referencias Bibliograficas

- Aguado-Aguilar, L. (2001). *Aprendizaje y memoria*. Rev Neurol, 32(4), 373-381.
- Álvarez-Buylla, A. & Lois, C. (1995). *Neuronal stem cells in the brain of adult vertebrates*. Stem Cells, May; 13 (3), 263-72.
- Bergado-Rosado, J.A. y Almaguer-Melian, W. (2000). *Mecanismos celulares de la neuroplasticidad*. Rev Neurol, 31(11), 1074-1095.
- Bliss, T.V. & Lomo, T. (1973). *Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following simulation of the perforant path*. J. Physiol, 232, 331-56.
- Clarke, J.R., Cammarota, M., Gruart, A., Izquierdo, I. & Delgado-García, J.M. (2010). *Plastic modifications induced by object recognition memory processing*. PNAS U S A. 107(6), 2652-7.
- Coveñas, R. y Aguilar, L. (2010). *Avances en neurociencia. Neuropeptidos: Investigación básica y clínica*. Lima, Perú: Fondo Editorial UPC.
- Daw, N. (1995). *Visual development*. New York: Plenum Press.
- Fuster, J. (2010). *El paradigma reticular de la memoria cortical*. Rev. Neurol, 50 (Supl. 3), s3-s10.
- Gruart, Agnés (2008). *¿Porqué es el cerebro humano tan bueno para aprender y pensar?*. En F. Muñoz Gutiérrez (Dir.), *El ser humano* (Vol. 2., Capítulo 15). Córdoba, España: Biblioteca BenRosch de Divulgación Científica y Tecnológica.
- Hernández, S., Mulas, F. y Mattos, L. (2004). *Plasticidad neuronal funcional*. Rev Neurol, 38, 58-68.
- Howard, P. (2011) *Investigación Neuroeducativa: Neurociencia, educación y cerebro: de los contextos a la práctica*. Madrid: Editorial La Muralla
- Klein, B. Stephen. (2002). *Learning. Principles and applications* (Fourth Edition). Nueva York: McGraw-Hill Publishing Company. Publishing Company
- Morales, B., Rozas, C., Pancetti, F. y Kirkwood, A. (2003). *Periodos críticos de plasticidad cortical*. Rev Neurol, 37(8), 739-743.
- Morgado, I. (2005). *Psicobiología del aprendizaje y la memoria: fundamentos y avances recientes*. Rev Neurol, 40, 289-297.
- O'Keefe, John & Nadcl, Lynn. (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford University Press.
- Ortiz, T., Poch-Broto, J., Requena, C., Santos, J.M., Martínez, A. y Barcia-Albacar, J.A. (2010). *Neuroplasticidad cerebral en áreas occipitales en adolescentes ciegos*. Rev Neurol, 50 (Supl. 3), S19-S23.
- Pantev, C., Engelien, A., Candia, V. & Elbert, T. (2001). *Representational cortex in musicians. Plastic alterations in response to musical practice*. Ann N Y Acad Sci, 930, 300-14.
- Purves, D. (e) y cols. (2007). *Neurociencia* (3ra edición) Madrid: Editorial Médica Panamericana.

- Sadato, N., Pascual-Leone, A., Grafman, J., Deiber, MP., Ibañez, V. & Hallett, M. (1998). *Neural networks for Braille reading by the blind*. *Brain*, 121, 1213-29.
- Sharma, A., Dorman, M. & Spahr, T. (2002). *A sensitive period for the development of the central auditory system in children with cochlear implants*. *Ear Hear* 23, 532-539.
- Puebla, R. & Talma, M. (2011) *Educación y neurociencias. La conexión que hace falta*. *Estudios Pedagógicos* 37(2), 379-388

LA IMPORTANCIA DEL SUEÑO EN EL APRENDIZAJE: VISOS DESDE LA PERSPECTIVA DE LA NEUROCIENCIA

The importance of sleep in learning: From the perspective of neuroscience

Luis Ángel Aguilar Mendoza¹, Solange Caballero², Verónica Ormea², Geraldine Salazar², Lillyan Loayza², Ana Muñoz¹

Resumen

El sueño como un estado fisiológico, es imprescindible para la vida humana y los procesos de sueño y aprendizaje son esenciales para la consolidación de la memoria. El presente documento tiene como objetivo presentar una breve revisión acerca del sueño y su relación con el aprendizaje, desde la perspectiva de la neurociencia. La primera parte del documento brinda una descripción sobre las etapas del sueño y cuáles son las estructuras cerebrales implicadas en controlarlas. Se presenta una descripción breve sobre el proceso del sueño en las actividades neurofisiológicas (sistema inmunológico, sistema cardiovascular y el sistema endocrino). El aprendizaje se relaciona con los cambios que ocurren en el individuo a nivel neuronal, cognitivo y conductual como resultado del intercambio de experiencias y estímulos buscando finalmente la adaptación con su entorno. Ligado al aprendizaje está la memoria, capacidad para adquirir, retener, almacenar y evocar dichos intercambios con el exterior. De acuerdo con la información recolectada, podemos precisar que es durante el sueño que se beneficia y facilita el mantenimiento neuronal, la neurogénesis, el aprendizaje, la memoria y la plasticidad neuronal.

Palabras clave: Salud, Aprendizaje, Neurociencia, Cerebro, Sueño, Memoria.

Abstract

The sleep as a physiological state, is essential for human life and the processes of sleep and learning are essential for the consolidation of memory. This document aims to present a brief review about sleep and its relationship with learning, from the perspective of neuroscience. The first part of the paper provides a description of the stages of sleep and which are the brain structures involved in controlling them. A brief description of the sleep process in neurophysiological activities (immune system, cardiovascular system and endocrine system) is presented. The learning is related to the changes that occur in the individual at the neuronal, cognitive and behavioral level as a result of the exchange of experiences and stimuli, finally seeking the adaptation with their surroundings. Linked to learning is the memory, ability to acquire, retain, store and evoke these exchanges with the outside. According to the information collected, we can state that it is during sleep that it benefits and facilitates neural maintenance, neurogenesis, learning, memory and neuronal plasticity.

Keywords: Health, Learning, Neuroscience, Brain, Sleep, Memory

1. Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad San Ignacio de Loyola. Lima, Perú. luisaguilar@upch.pe

2. Laboratorio de Neurociencias y Comportamiento. Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima. Perú.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la humanidad, el ser humano ha mostrado interés respecto al sueño. En la antigüedad se creía que mientras una persona dormía había una disminución o ausencia de la actividad cerebral (Cardinali, 2007). Actualmente, el sueño es considerado como un estado fisiológico, el cual es imprescindible para la vida humana y que si bien implica una disminución de la conciencia y una disminución al estado de alerta, durante el estado del sueño, se llevan a cabo procesos que requieren de la integración completa de la actividad cerebral y en el que se modifican muchos procesos fisiológicos del organismo (Bauzano, 2003). Mientras dormimos no respondemos a los estímulos visuales y nuestro umbral de respuesta a los estímulos auditivos aumenta (Aguilar et al. 2012).

Carrillo (2013) mencionan algunas características conductuales asociadas al sueño, entre las que podemos citar: 1) es un proceso reversible, el cual difiere de otros estados como el estupor o el coma, 2) durante este periodo de descanso se produce una disminución de la conciencia y una reactividad a los estímulos externo, 3) el sueño se asocia a la inmovilidad y relajación muscular, 4) la ausencia de horas de sueño conlleva a alteraciones fisiológicas y conductuales, 5) durante este estado se asumen posturas estereotipadas y 6) responde al ritmo circadiano.

El sueño es un fenómeno periódico activo regular que se adapta a las variaciones biológicas del tiempo mediante ritmos biológicos como los infradianos, ultradianos y circadianos (Saavedra, Zúñiga, Navia y Vásquez, 2013).

El ritmo infradiano es aquel cuyas variaciones regulares son registradas en un tiempo mayor a 24 horas, mientras que en el ritmo ultradiano, son ciclos de menos de 24 horas (Tresguerres, Ariznavareta, Cachofeiro, Cardinali, Escrich, Gil, Lahera, Mora, Romano y Tamargo, 2005). Los ritmos circadianos son ritmos biológicos u oscilaciones de las variables biológicas, con un periodo aproximado de 24 horas (Silva, 2010). Permiten reconocer los fenómenos de sueño-vigilia y su acción homeostática, en los procesos sistémicos de todo ser vivo (Saavedra et al, 2013).

El reloj biológico del ser humano rige los ritmos circadianos, así como el sueño y la vigilia. Se sitúa en el sistema nervioso central, en los núcleos supraquiasmáticos (NSQ) del hipotálamo. Las células del NQS se van a encargar de generar y coordinar los procesos fisiológicos rítmicos como el sueño - vigilia, la secreción de hormonas y la división celular (Hastings y Herzog, 2004).

Las neuronas del NSQ aumentan su actividad eléctrica durante el día, siendo la máxima hacia la tarde (aproximadamente hacia las 18:00 hrs.) precisamente cuando la melatonina comienza a liberarse reduciendo la actividad en el organismo. Es por ello, que se considera a la melatonina como la encargada de abrir las puertas al sueño (Cardinali, 2007).

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es relacionar sueño y su importancia en los procesos de aprendizaje desde la perspectiva de las neurociencias.

¿Qué es el sueño REM y NREM?

El sueño tiene distintas fases a medida que pasa el tiempo al dormir, presentando diferentes procesos fisiológicos específicos en cada una de sus fases, las cuales se complementan en ciclos repetitivos durante la noche.

Los seres humanos pasamos básicamente por dos etapas de sueño denominadas NREM (Not rapid eyes movement) y REM (Rapid Eyes Movement).

Diferentes estructuras cerebrales controlan distintas fases del sueño. El tronco encefálico y el prosencéfalo basal están implicados principalmente en la regulación de las fases del sueño REM; mientras que, el área pre óptica ventrolateral del hipotálamo está implicada en la regulación del sueño NREM (Fernández - Mendoza y Puhl, 2014).

En cuanto a la actividad cerebral, en las primeras fases del sueño abundan ondas cerebrales lentas donde el movimiento de los ojos es lento y sin coordinación, por lo que a esta etapa también se le conoce como NREM; durante las últimas fases del sueño, por el contrario dormimos un sueño de ondas cerebrales

rápidas, que se acompañan con movimientos y conjugados de ambos ojos, a esta fase se le denomina REM (Purves, Augustine, Fitzpatrick, Hall, LaMantia y White, 2016).

Estas fases de sueño "NREM y REM" se alternan sucesivamente entre cuatro a cinco veces por la noche. La fase de sueño NREM dura 6 horas y la fase de sueño REM 2 horas (Velayos, Molerés, Irujo, Yllanes y Paternain, 2007).

Es importante señalar que tanto el sueño REM como NREM juegan un rol muy importante en la consolidación de memorias y el aprendizaje. Específicamente el sueño NREM o sueño de ondas lentas iniciaría este rol importante en el desarrollo y en el aprendizaje (Benington y Frank, 2003).

Velayo et al (2007) citando a McCarley (1995) y Purves, Augustine, Fitzpatrick, Katz y La Mantia (2001), señala que para el estudio de los cambios funcionales que se dan durante el sueño se evalúan por medio del electroencefalograma (EEG), los movimientos oculares y el tono muscular. El registro de estos tres indicadores se denomina, polisomnografía. El sueño NREM está dividido en cuatro etapas o estadios:

La primera fase se caracteriza por la transición de la vigilia al sueño;

La segunda, porque la actividad cerebral se va haciendo más profunda. Se caracteriza porque aparecen patrones específicos de actividad cerebral llamados husos de sueño y complejos K. Tanto la temperatura, la frecuencia cardíaca y respiratoria comienzan a disminuir paulatinamente (Carrillo et al, 2013).

Durante la tercera y cuarta fase, el sueño es más profundo, se ralentizan las ondas cerebrales. Esta fase es conocida como sueño lento.

El sueño REM o también llamado sueño paradójico se caracteriza por la disminución del tono muscular (con excepción de los músculos respiratorios y los esfínteres vesical y anal), así mismo la frecuencia cardíaca y respiratoria se vuelve irregular e incluso puede incrementarse; existe erección espontánea del pene o del clítoris (Carrillo et al, 2013).

Durante el sueño REM, el hipotálamo no ejerce la función de "termostato". Cuando se producen modificaciones extremas de la temperatura ambiente (calentamiento o enfriamiento pasivo), acontece un despertar o se produce el pase a una fase del sueño NREM (Aguilar et al, 2012).

Relación del sueño con las actividades neurofisiológicas:

El sueño es fundamental para la vida de los seres vivos y por ende, guarda una estrecha relación con las actividades neurofisiológicas. Para poder entender esto es importante tener en cuenta dos aspectos: a) en el dormir todas las fases del sueño son esenciales porque tienen una repercusión en el sistema nervioso a nivel fisiológico y morfológico; b) la privación del sueño llega a afectar la salud física y repercute en el entorno social, en el estado emocional y en la productividad de los individuos, entre otros.

a) El sueño y el sistema inmunológico

La dificultad para dormir debilita el sistema inmune, forzando los órganos, y exponiendo al individuo a un mayor riesgo de contraer enfermedades; además, incide en la fatiga del trabajo diario, disminuye la concentración y es causa de cefalea, artralgias y depresión (Lombardo, Velázquez, Flores, Casillas, Galván, García, Rosique y Rodríguez, 2011).

Se comprobó que la privación total de sueño por un periodo de 20 días producía la muerte en ratas. Dentro de los resultados, las ratas iban perdiendo y cambiando el color de su pelaje, se presentaron lesiones en la piel de la cola y las patas, así como una afectación en la alimentación (Cardinali, 2007).

En la actualidad se han incrementado los estudios respecto al sueño y su relación con el sistema inmunológico. Algunos de ellos han encontrado una relación entre el sueño y la respuesta de los anticuerpos a la hepatitis A cuando el sueño se encuentra alterado (Lange, Perras, Fehm, y Born, 2003).

Una de las investigaciones realizadas en seres humanos evidenció que dormir durante la noche después de haber recibido vacunas experimentales contra la hepatitis A produce un fuerte y persistente aumento en el número de antígenos específicos de células Th, así

como de anticuerpos. Juntos, estos hallazgos respaldan la idea de que el sueño de onda lenta contribuye a la formación de recuerdos biológicos a largo plazo y, en consecuencia, a respuestas adaptativas, conductuales e inmunológicas (Besedovsky, Lange, y Born, 2011).

En la actualidad se ha encontrado evidencias que el sueño sirve para la recuperación del metabolismo y de la homeostasis del organismo, para descansar (Fernández-Mendoza et al, 2014).

El estudio llevado a cabo por Vera, Sánchez y Buelase (2007) centró en la relación entre Síndrome de Apnea Obstruktiva del Sueño (SAOS) y el sistema inmune. Si bien sus resultados no son concluyentes, han encontrado evidencias que la apnea al ser una alteración del sueño puede tener efectos en el sistema inmune y, por ende, afectar la salud de las personas.

b) El sueño y el sistema cardiovascular

Durante el sueño NREM la frecuencia cardíaca, respiratoria y la presión arterial caen a niveles por debajo de los presentados durante el día. A diferencia del sueño REM, etapa en la que la presión arterial y la frecuencia cardíaca fluctúan.

Al despertar, independiente del período (uno puede despertarse para luego conciliar nuevamente el sueño), tanto la frecuencia cardíaca como la presión arterial aumentan.

De acuerdo a las investigaciones realizadas las personas que padecen SAOS suelen presentar frecuencias altas de enfermedad coronaria. Asimismo, el SAOS puede causar otros eventos fisiopatológicos en el sistema cardiovascular como: reducción en la liberación de oxígeno al miocardio, incremento en la demanda de oxígeno, isquemia miocárdica nocturna, edema pulmonar nocturno, hipertrofia del ventrículo izquierdo, disfunción izquierda e insuficiencia cardíaca (Araya, 2014).

c) El sueño y el sistema endocrino

De acuerdo a la información con la que contamos en la actualidad, la falta de sueño trae consigo alteraciones a nivel metabólico y endocrino. Por ejemplo, tenemos una disminución de la tolerancia a la glucosa, el aumento del nivel de grelina y disminución

de los niveles de leptina, elevación de los niveles de cortisol (Canet, 2016) y una disminución de la hormona estimulante de la tiroides (García, 2016).

En un reciente estudio realizado por Agüero y Haro (2016) para determinar si es que existe una asociación entre la privación de sueño nocturno durante la semana y el fin de semana, los hábitos alimentarios y la actividad física con el estado nutricional en escolares chilenos, se concluyó que sí existe una asociación entre menos horas de sueño e incremento del riesgo de sobrepeso/obesidad. Cabe mencionar que al tratarse de un estudio transversal no se puede hablar de causalidad por lo que se recomienda un estudio longitudinal y de intervención para determinar si es que existe un efecto de mejora del estado nutricional cuando hay una adecuada higiene de sueño.

La hormona del crecimiento se secreta en la primera hora de sueño, en la fase NREM. Además, los niveles más altos de secreción de la prolactina se observan durante el sueño REM, y la hormona tiroidea se secreta al final del día. Respecto a la secreción de las hormonas ACTH, del cortisol y de la adrenalina se producen al final del sueño, preparando al organismo para la vigilia (Aguilar et al, 2012).

Con respecto a la hormona del crecimiento, el aumento de ésta durante el sueño lento apoyaría la hipótesis de que el sueño también cumpliría con una función restauradora. Aunque cabe señalar que en especies como los monos rhesus y los perros no se ha podido corroborar esta correlación (Tresguerres, et al, 2005).

SUEÑO Y APRENDIZAJE

Gracias a las investigaciones que se han realizado en el campo de la neurociencia, hoy sabemos que es precisamente durante el sueño que se beneficia y facilita el mantenimiento neuronal, la neurogénesis (Guzman-Marín, Sumtsova, Methippara, Greiffenstein, Szymusiak y McGint, 2005), así como el aprendizaje y la memoria (Huber, Ghilardi, Massini y Tononi, 2004), y la plasticidad cerebral.

a) ¿Qué es el aprendizaje?

El cerebro está genéticamente programado para

desarrollarse potencialmente, pero para que pueda lograr su desarrollo pleno necesita de un ambiente que lo estimule adecuadamente y positivamente.

Campos (2011) define el aprendizaje como un proceso que está 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.

Todos los seres humanos al nacer contamos con más conexiones y circuitos neuronales de los que necesitamos (exuberancia sináptica). Durante los dos primeros años se produce una poda programada en la cual el sistema nervioso central (SNC) se queda con aquellos circuitos que le son funcionales y útiles.

Esto no quiere decir que transcurrida esta etapa ya no se generen o modifiquen los circuitos, porque el sistema nervioso tiene la capacidad de responder a los estímulos extrínsecos e intrínsecos a través de la reorganización de su estructura, función y conexión, esto es conocido como la neuroplasticidad.

La plasticidad cerebral es un proceso de adaptación constante, mediante el cual las neuronas consiguen aumentar sus conexiones con las otras neuronas de forma estable a consecuencia de la experiencia, aprendizaje, estimulación sensorial y cognitiva (Aguilar, et al., 2012). Asimismo, debe ser entendido como la potencialidad del sistema nervioso de modificarse para formar conexiones nerviosas en respuesta a la disfunción o el daño (Garcés y Suárez, 2014).

Decimos que la plasticidad es expectante de la experiencia cuando el sistema nervioso está a la espera de estímulos que le permitan completar su desarrollo y funcionalidad. De ahí, la importancia de la experiencia (factores ambientales) para permitirle conformar, refinar y cablear determinados circuitos neuronales. Ejemplo: el movimiento comienza de lo más elemental y se van complejizando a lo largo de los años.

La plasticidad cerebral es dependiente de la experiencia porque está vinculada a mecanismos neurales que subyacen a la capacidad de un individuo para aprender a partir de sus experiencias personales,

lo que le permite adaptarse a nuevos contextos personales, sociales y culturales.

Aguilar et al (2012) citando a Maquet, Smith y Stickgold (2003) señala que el sueño participa en funciones relacionadas con la plasticidad cerebral. Asimismo, citando a Hennevin, Huesz y Edeline (2007) menciona que esto guarda relación con la habilidad del cerebro para cambiar su estructura en respuesta al ambiente (reorganización y activación de las memorias).

¿Qué es la memoria?

Al hablar del aprendizaje no podemos dejar de lado a la memoria, ya que es esencial porque une los pensamientos y experiencias, permitiendo dar sentido y significado al comportamiento presente. Hace referencia a la capacidad para adquirir, retener, almacenar y evocar información del ambiente.

Gleichgerrcht (2013) señala tres procesos básicos que involucra la memoria:

- Codificar: Es cuando se incorpora la información y se registra en el cerebro.
- Almacenar: Es el proceso por el cual la información es guardada para luego ser encontrada.
- Evocación: Es la recuperación de la información cada vez que sea necesaria.

Todos los seres humanos tenemos la necesidad de guardar información en nuestros cerebros, pero como veremos más adelante no se lleva a cabo de la misma manera. Para poder ahondar en este tema, es necesario establecer la diferencia entre Sistemas de memoria y formas de memoria.

Las formas de memoria son parte de los sistemas de memoria, pueden ser: olfativas, visuales, verbales, etc. Mientras que los sistemas de memoria se encargan de procesar un tipo de información y conocimiento particular, se desarrollan en diferentes momentos de la vida y utilizan diferentes estructuras del cerebro.

Para clasificar los sistemas de memoria, nos guiaremos de las propuestas de Squire (1992), Torralva y Sierra (2013) y Gleichgerrcht y Podestá (2013).

De acuerdo a los procesos básicos que involucra la memoria podemos dividirla en: memoria explícita (declarativa) y memoria implícita (no declarativa), cabe señalar que cada una se subdivide a su vez.

La memoria explícita es llamada también memoria declarativa. Entre las estructuras cerebrales que intervienen tenemos a la corteza prefrontal, amígdala, corteza perineal, diencéfalo, siendo el hipocampo una de las más resaltantes por ser la encargada de indicar cómo y dónde son guardadas las memorias, y puede recuperarlas cuando son necesarias. Esta memoria entra en funcionamiento cuando necesitamos recordar una experiencia pasada de manera consciente. Está conformada por la memoria episódica y la memoria semántica:

La memoria episódica se refiere a lugares y descripciones de eventos y personas. Están enmarcadas en un contexto real. Por ejemplo: cuando contamos una anécdota (tiene un comienzo, desarrollo y final). Dentro de esta memoria tenemos: la memoria de largo plazo (MLP) donde se guardan los aprendizajes significativos. Puede ser recuperado después de mucho tiempo de su aprendizaje. Y la memoria de trabajo (memoria online) este tipo de memoria trabaja con la información en cortos intervalos de tiempo. Por ejemplo: cuando hacemos cálculos mentales o recordamos un número telefónico antes de marcarlo, luego esta información se pierde.

A la memoria semántica debemos de entenderla como una gran enciclopedia o un diccionario de los significados de las palabras y las relaciones de estos significados. Están relacionados con experiencias concretas: hechos, números, símbolos, reglas gramaticales, fórmulas o reglas matemáticas.

La memoria implícita (no declarativa) es incidental o inconsciente. Está relacionada con aprendizajes condicionados y habilidades motoras. Incluye respuestas emocionales, habilidades, y hábitos, y respuestas a estímulos. Entre las estructuras cerebrales relacionadas tenemos a los ganglios basales, corteza premotora, y el cerebelo. Dentro de esta memoria podemos encontrar al priming y la memoria procedimental o procedural, pero en esta oportunidad nos centraremos solamente en la última.

La memoria procedimental o procedural tiene que ver con aprendizaje motor. Con la repetición de un acto motor éste mejora y se automatiza. Por ejemplo: manejar bicicleta: una persona que ha aprendido lo hace de manera automática (no piensa en cómo debe de pedalear). Lo mismo ocurre con la escritura, cuando hemos aprendido no pensamos en cómo se hace una grafía.

¿Cuál es la relación entre el sueño, el aprendizaje y la memoria?

La relación entre el sueño, el aprendizaje y la memoria es muy compleja. Esto se puede deber en gran medida a que cada una de las fases del sueño parece relacionarse con un tipo de memoria.

A partir de las investigaciones celulares, moleculares, fisiológicas y conductuales que se han realizado tanto en animales como en seres humanos se ha propuesto que el sueño además de favorecer la consolidación de la memoria, facilita la adquisición de nueva información (Fernández et al., 2014).

Fernández et al. (2014) define la consolidación de la memoria como el proceso de estabilización de la experiencia sensoriomotora que ocurre tras la codificación de dicha información. Este proceso parece depender del sueño REM y de la Fase 2 del sueño NREM. La consolidación permite establecer conexiones entre los lóbulos temporales mediales y las áreas neocorticales del cerebro (McGaugh, 2000).

La evidencia científica indica que el sueño después del aprendizaje es fundamental para la consolidación de la memoria humana (Huber et al., 2004). Asimismo, se cree que el sueño antes del aprendizaje es igualmente esencial para la formación de nuevos recuerdos (Del Castillo y Mendoza, 2005). Una noche de privación de sueño produce un déficit significativo en la actividad del hipocampo durante la codificación de la memoria episódica, resultando en peor retención posterior. Durante el sueño se mejoraría la habilidad para recordar el lenguaje hablado, las habilidades motoras y la información de hechos (Aguilar et al., 2012).

La creciente evidencia sugiere que el sueño juega un papel importante en el proceso de aprendizaje de procedimientos. Más recientemente, el sueño se ha

implicado en el desarrollo continuo de la habilidad motora después de la adquisición inicial (Walker, Brakefield, Seidman, Morgan, Hobson, y Stickgold, 2003).

Actualmente se cuenta con evidencias científicas que señalan que durante el sueño REM se favorece la memoria procedimental, ya que ésta puede ser mejorada. Asimismo, se ha podido corroborar que tiene un efecto beneficioso en la consolidación de las habilidades cognitivas como en las habilidades sensitivo-perceptuales. Mientras que el sueño NREM beneficia la memoria declarativa (hechos / episodios) (Born, Rasch, Gais, 2006).

En un estudio realizado por King et al. (2017) en personas mayores que presentaban un déficit en la consolidación de la memoria motora, se empleó fMRI para investigar los sustratos neuronales subyacentes a la consolidación de la memoria de la secuencia motora y la influencia moduladora de post-aprendizaje del sueño, en adultos mayores sanos. Los participantes fueron entrenados en una secuencia motora y reexaminados después de un intervalo de 8 horas incluyendo sueño de vigilia o diurno, así como un intervalo de 22 horas incluyendo una noche de sueño. Al concluir la investigación, los hallazgos no solo demostraron que el sueño posterior al aprendizaje puede mejorar la consolidación de la memoria motora en adultos mayores, sino que también proporcionan los correlatos neuronales a nivel de sistema de este efecto beneficioso.

Respecto a los neonatos y niños, Malasán, Sequieda y Ortiz (2013) indican que el sueño juega un papel fundamental para el desarrollo infantil, puesto que el requerimiento de horas de sueño depende de la etapa del ciclo vital y de las características de los niños. Por ejemplo, los recién nacidos duermen un promedio de 16 a 18 horas al día y hacia los 12 meses, la media de sueño es de unas 12-13 h al día.

Aguilar et al. (2012) citando a Tarullo, Balsam y Fifer (2011) señalan que el sueño óptimo prepara al infante para aprender cuando despierta, y después de que el aprendizaje ha ocurrido durante la vigilia, ya que los procesos centrales de memoria siguen durante el sueño, permitiéndole aprender respuestas adaptables

a retos fisiológicos en el ambiente en el que duerme. Esto tiene implicancias para la supervivencia del infante.

Un estudio realizado en adolescentes muestra una conexión entre la pérdida de sueño y el rendimiento en la memoria de trabajo (Aguilar et al., 2012). Esto se debe a que los adolescentes tienen una cantidad insuficiente de sueño que se traduce en su habilidad para codificar, almacenar y recuperar información (Gradiar, Terrill, Jhonston, y Douglas, 2008).

En la investigación llevada a cabo por McCanan, Bayliss, Pestell, Hill y Bucks (2016) respecto a la relación entre sueño y memoria de trabajo en niños con condiciones neurológicas, los resultados sugieren que la mala calidad del sueño se asocia con un componente ejecutivo de la memoria de trabajo verbal (más que espacial) en niños con condiciones neurológicas.

Lombardo et al. (2011) llevaron a cabo un estudio descriptivo - transversal en un grupo de estudiantes de preparatoria del sexo femenino de 15 a 18 años respecto a la relación entre los trastornos de sueño con rendimiento escolar, así como con el índice de masa corporal. Ellos concluyeron que la hipersomnia diurna afecta el rendimiento académico en un 0.7%. Los resultados en las materias de humanidades son satisfactorios gracias a la siesta que duermen las alumnas en el transporte escolar, ya que se relacionan con la memoria declarativa, mientras que las ciencias no alcanzan a ser consolidadas por el tiempo que se requiere para entrar a sueño REM.

CONCLUSIONES:

En la actualidad, las investigaciones que se están realizando en el campo de neurociencia nos permiten tener una mejor comprensión de todas las implicancias que tiene el sueño para la vida del ser humano y abren nuevos senderos para futuros estudios.

En una época en la que se prioriza las horas de vigilia y se ha dejado de lado el tiempo destinado para el descanso, es necesario detenernos a reflexionar y crear conciencia sobre las consecuencias de la privación del sueño y la importancia de la higiene del sueño.

REFERENCIAS

- Agüero, S. & Haro, P. (2016). Asociación entre cantidad de sueño y obesidad en escolares chilenos. *Arch Argent Pediatr*, 114(2), 114-119.
- Aguilar, L., Espinoza, G., Oruro, E. & León, R. (2012). Breves consideraciones sobre el papel del sueño en la memoria y el aprendizaje. Módulo VI Curso 1 Factores que afectan el aprendizaje. Diplomado Neuropedagogía a distancia, Cerebrum y ASEDH.
- Araya, V. (2014). Apnea del sueño y enfermedad cardiovascular. *Revista Costarricense de Cardiología*, 16(1), 03-03.
- Bauzano - Poley, E. (2003). El insomnio en la infancia. *Revista de Neurología*, 36, 381 - 390.
- Benington, J. & Frank, M. (2003). Cellular and molecular connections between sleep and synaptic plasticity. *Prog. Neurobiol*, 69(2), 71-101.
- Besedovsky, L., Lange, T. y Born, J. (2012). Sleep and immune function. *PflugersArchiv*, 463(1), 121-137.
- Born, J., Rasch, B., Gais, S. (2006). Sleep to remember. *Neuroscientist*, 12, 410-424.
- Campos, A. L. (2011). Aprendizaje y Memoria. Separatas del Diplomado de Neuropedagogía. Lima: CEREBRUM- ASDEH.
- Canet, T. (2016). Sueño y alimentación. *Revista de Neurología*, 63 (Suple 2), S17-S18.
- Cardinali, D. (2007). *Neurociencia Aplicada sus fundamentos*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Carrillo, P., Ramírez, J. & Magaña, K. (2013). Neurobiología del sueño y su importancia: antología para el estudiante universitario. *Neurobiología del sueño*, 56(4), 5-15.
- Del Castillo, L. & Mendoza, D. (2005). Algunos aspectos fisiológicos acerca del sueño. *Revista de la Facultad de Ciencias de Salud. DUAZARI*, 2(1), 57-64.
- Fernández-Mendoza, J. & Puhl, M. (2014). Capítulo 23 Sueño y aousa. *Neurociencia Cognitiva*. Madrid: Médica Panamericana.
- García - Borriquero, D. (2016). Principales retos en la investigación sobre hábitos del sueño. *Revista de Neurología*, 63(Suple 1), S21-S27.
- Garcés, M. & Suárez, J. (2014). Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos. *Revista CES Medicina*, 28(1), 119-131.
- Gleichgerrcht, E. (2013). Memoria. Material entregado en la Maestría de Neurociencia y Educación de la Universidad Antonio Ruiz de Montoya y CEREBRUM.
- Gleichgerrcht, E. & M.G. de Podestá, M.E. (2013). Capítulo IV ¿Cómo aprendemos? *El cerebro que aprende: Una mirada a la Educación desde la Neurociencia*. Argentina: Aique.
- Gradiar, M., Terrill, G., Jhonston, A. & Douglas, P. (2008). Adolescent sleep and working memory performance. *Sleep and Biological Rhythms*, 6(3), 146-154.
- Guzman-Marín, R., Suntsova, N., Methippara, M., Greiffenstein, R., Szymusiak, R. & McGint, D. (2005). Sleep deprivations suppresses neurogenesis in the adult hippocampus of rats. *European Journal of Neuroscience*, 22(8), 2111 - 2116.
- Hastings, M. & Herzog, E. (2004). Clock Genes, Oscillators, and Cellular Networks in the Suprachiasmatic Nuclei. *Journal of Biological Rhythms*, 19(5), 400-413.
- Huber, R., Ghilardi, M.F., Massini, M & Tononi, G. (2004). Local sleep and learning. *Nature*, 430, 78-81.
- King, B., Saucier, P., Albouy, G., Fogel, S., Rumpf, J., Klann, J., Buccino, G., Binkofski, F., Classen, J., Kami, A. & Doyon, J. (2017). Cerebral activation during initial motor learning forecasts subsequent sleep-facilitated memory consolidation in older adults. *Cerebral Cortex*, 27, 1588-1601.
- Lange, T., Perras, B., Fehm, H. & Born, J. (2003). Sleep enhances the human antibody response to hepatitis a vaccination. *PsychosMed*, 65, 831-835.
- Lombardo, E., Velázquez, J., Flores, G., Casillas, G., Galván, A., García, P., Rosique, L. & Rodríguez, L. (2011). Relación entre trastornos del sueño, rendimiento académico y obesidad en estudiantes

- de preparatoria. *Acta Pediátrica de México*, 32(3), 163-168.
- Malasán, P., Sequeida, J. & Ortiz, M. (2013). Sueño en escolares y adolescentes, su importancia y promoción a través de programas educativos. *Revista Chilena de Pediatría*, 84(5), 554-564.
- McCanan, M., Bayliss, D., Pestell, C., Hill, C. & Bucks, R. (2016). The relationship between sleep and working memory in children with neurological conditions. *Child Neuropsychology. A journal on normal and abnormal development in childhood and adolescence*. 1-18.
- McGaugh, J. (2000). Memory a century of consolidation. *Science*, 287(5451), 248-251.
- Purves, D., Augustine, Fitzpatrick, D., Hall, LaMantia, A. & White (2016). *Neurociencia* (5ª ed.). Madrid: Médica Panamericana.
- Saavedra, J., Zúñiga, L., Navia, C. y Vásquez, J. (2013). Ritmo circadiano: el reloj maestro. Alteraciones que comprometen el estado de sueño y vigilia en el área de la salud. *Morfología*, 5(3), 16-35.
- Silva, F. (2010). Trastornos del Ritmo Circadiano del Sueño: fisiopatología, clasificación y tratamientos. *Revista Memoriza*, 7, 1-13.
- Squire, L. (1992). Declarative and Nondeclarative Memory: Multiple Brain Systems Supporting Learning and Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 4(3), 232-243.
- Tresguerres, J., Ariznavarreta, C., Cachafeiro, V., Cardinali, D., Escrich, E., Gil, P., Lahera, V., Mora, F., Romano, M. & Tamargo, J. (2005). *Fisiología Humana* (3ª ed.). Madrid: McGraw Hill.
- Velayos, J., Molerés, F., Irujo, A., Yllanes, D. & Paternain, B. (2007). Bases anatómicas del sueño. *Anales del sistema sanitario de Navarra*, 30 (Suplemento 1), 7-17.
- Vera, P., Sánchez, A. & Buéla, G. (2007). Sueño y Sistema Inmune: Diferencias en Variables Inmunológicas en Sujetos con Apnea y Controles. *Revista Ecuatoriana de Neurología*, 16(3), 181-184.
- Walker, M., Brakefield, T., Seidman, J., Morgan, A., Hobson, J. & Stickgold, R. (2003). Sleep and the time course of motor skill learning. *Learning Memory*, 10(4), 275-284.

Fecha de recepción: 13 de setiembre, 2017

Fecha de aceptación: 20 de noviembre, 2017