

Los husos de sueño. ¿Actividad cerebral que influye en la memoria?

Cuando dormimos, nuestro cerebro no descansa; al contrario, ayuda a cumplir muchas funciones en diversos niveles fisiológicos. La expresión de un patrón específico de actividad eléctrica cerebral (conocido como huso de sueño) previene los despertares y —se sugiere— genera mecanismos de comunicación entre ciertas zonas del cerebro que favorecen la consolidación de la memoria y el aprendizaje.

El sueño es crucial para que podamos seguir viviendo. Durante ese estado, aunque de aparente reposo, en nuestro cuerpo ocurren diversos procesos fisiológicos muy importantes, muchos de los cuales suceden en el cerebro. Si no se producen o si se llevan a cabo de una manera ineficiente, ya sea por falta de sueño o por dormir en un horario irregular, observamos su efecto negativo en numerosas funciones. Por ejemplo, la deficiencia de sueño aumenta la incidencia de enfermedades cardiovasculares, está asociada a alteraciones psiquiátricas, como los trastornos de ansiedad y depresión, o bien puede provocar una desregulación metabólica que lleve al aumento de peso, a la obesidad y al desarrollo de diabetes. Además, la carencia de sueño afecta diversas funciones cognitivas, como la memoria y el aprendizaje.

Las neuronas se comunican entre ellas a partir de mensajes químicos y eléctricos. Diversas investigaciones en neurociencias tratan de descifrar esos mensajes mediante el registro de la actividad neuronal con diferentes técnicas. Por ejemplo, los electrodos que son colocados en el cuero cabelludo (electroencefalografía, EEG) o directamente en el cerebro (estereo-EEG) han permitido reconocer patrones de actividad eléctrica que se asocian a estados cerebrales globales, como el sueño, o a procesos específicos, como la memoria.

En la Figura 1 están representados los cambios que ocurren en la actividad eléctrica de las poblaciones de neuronas registradas con la técnica de EEG a lo largo del ciclo sueño-vigilia, el cual está formado por cuatro fases que se van alternando durante toda la noche, más el estado de despertar (vigilia). Como puede verse en un electroencefalograma, durante la vigilia la actividad es rápida y pequeña (bajo

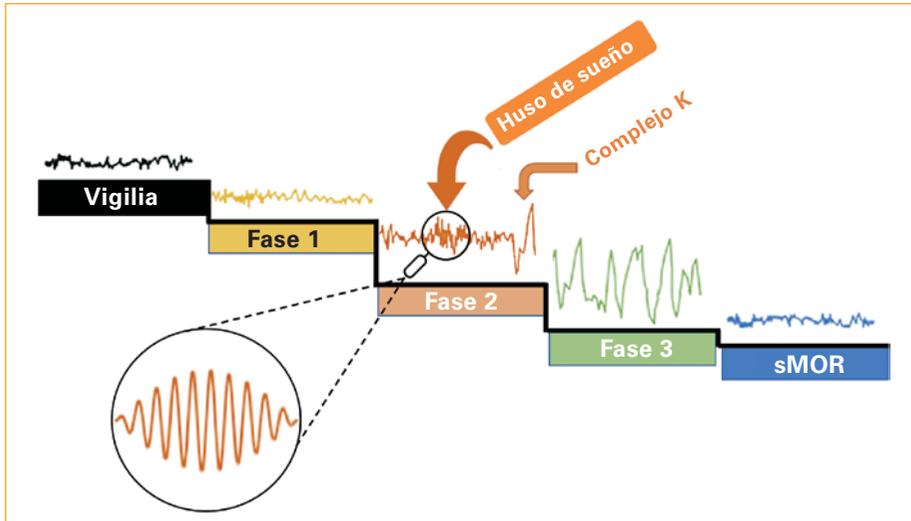


Figura 1. Trazos de actividad eléctrica cerebral característicos del estado de vigilia y cada fase del sueño en seres humanos. En la fase 2 se señalan los elementos característicos: complejo K y huso de sueño; este último aparece agrandado para apreciar su forma. sMOR = sueño de movimientos oculares rápidos.

voltaje). Al inicio del sueño, en la fase 1, se presentan ondas más lentas (conocidas como theta, de 4 a 7 Hz). La fase 2 está caracterizada por la aparición de los husos de sueño y de complejos K; ésta es la fase de sueño más larga y abarca 50% del sueño total. Posteriormente, la actividad se vuelve más lenta y aumenta su voltaje, lo que da lugar al sueño de ondas lentas (fase 3). Por último, la actividad cerebral vuelve a ser rápida y de bajo voltaje –parecida a la vigilia–; paradójicamente, nuestros músculos están completamente relajados y los estímulos ambientales son filtrados de manera eficiente, así que el cerebro se encuentra desconectado del exterior mientras genera su propia actividad. Esta fase se llama sueño de movimientos oculares rápidos (MOR) y es cuando los sueños son más vívidos. Las fases 1, 2 y 3 también se llaman sueño no-MOR; es decir, sin movimientos oculares rápidos.

Mientras dormimos, hay una dinámica cerebral constante. ¿Por qué ocurren estos cambios? ¿Qué funciones hay detrás de estas fluctuaciones en la actividad eléctrica cerebral? A la fecha, estas preguntas se siguen investigando en laboratorios de todo el mundo. Recientemente se ha propuesto que los husos de sueño son un mecanismo adicional del sueño que contribuye a la consolidación de la información que experimentamos durante el día.

■ Los husos de sueño

Las oscilaciones de la actividad eléctrica en las poblaciones neuronales que emergen, crecen en amplitud y decrecen de forma gradual –conocidas como husos de sueño– duran aproximadamente 1 segundo y presentan una frecuencia de entre 9 y 16 Hz en el cerebro humano. Gracias a los minuciosos estudios desarrollados por Mircea Steriade, quien fue jefe del Laboratorio de Neurofisiología de la Universidad de Laval en Canadá, sabemos que los husos de sueño se generan en los circuitos neuronales de una estructura cerebral profunda llamada tálamo (véase la Figura 2), y se mantienen debido al diálogo que se establece con las neuronas de la corteza cerebral, que es la capa más superficial del cerebro. Una lesión de estas neuronas talámicas o de las vías de comunicación con la corteza cerebral hace que desaparezcan los husos de sueño o que se presenten de manera rudimentaria (como apenas un suspiro).

En seres humanos se han reportado dos tipos de husos: uno que aparece preferentemente sobre las regiones anteriores del cerebro, con frecuencias lentas (9-12 Hz), y otro tipo que es más central y posterior, con frecuencias rápidas (13-16 Hz). Hay ciertas patologías que se relacionan con una disminución en el número de husos de sueño, como la esquizofrenia

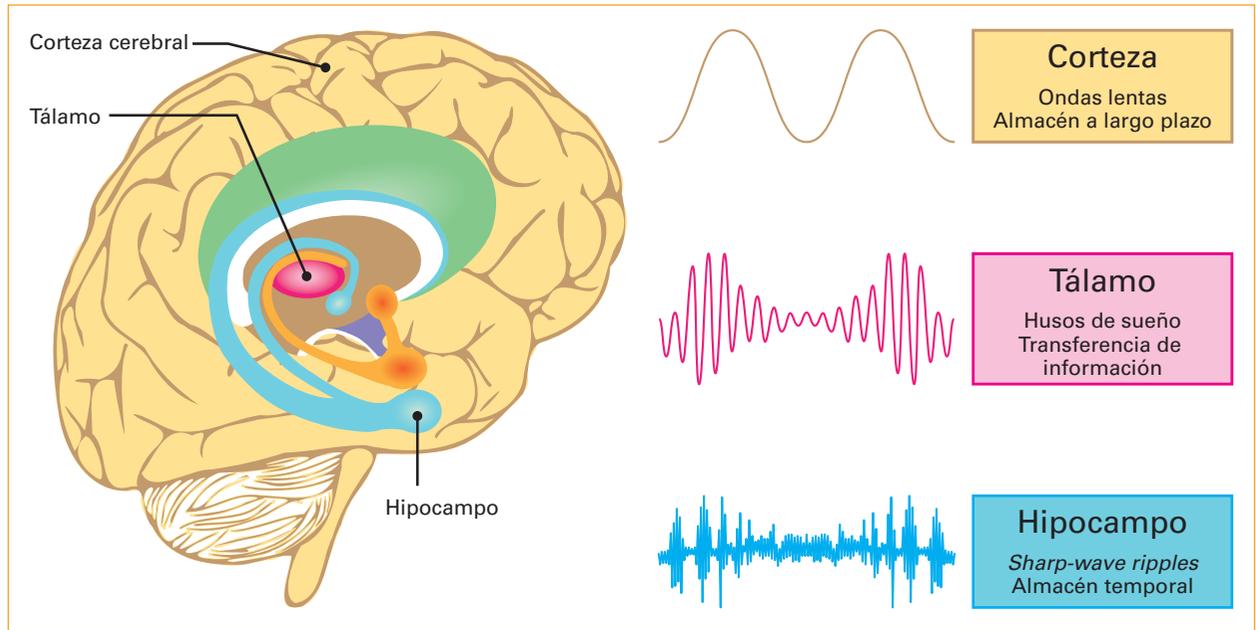


Figura 2. Representación anatómica y de los ritmos durante el sueño no-MOR en la corteza cerebral (en amarillo) con las ondas menores de 1 Hz, el tálamo (en rosa) con los husos de sueño y el hipocampo (en azul) con las *sharp-wave ripples*.

y enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer o el Parkinson. También hay trastornos del desarrollo, como el autismo, en los que el número de husos lentos se encuentra disminuido, mientras que la cantidad de husos rápidos está incrementada.

■ **¿Los husos de sueño tienen efectos benéficos para las funciones cerebrales?**

Los estudios realizados en humanos con técnicas de neuroimagen muestran que los husos de sueño atenúan la entrada de la información sensorial a la corteza cerebral, lo que previene activaciones que interrumpen el sueño. Sabemos que se requiere de sonidos más intensos para despertar a una persona durante los episodios con husos de sueño, en comparación con cuando no los hay. Asimismo, el número de husos durante el sueño se relaciona con la tolerancia al ruido del ambiente; si se presentan sonidos durante el sueño, se activa la corteza cerebral que responde a ellos (el giro temporal superior), pero durante los husos de sueño esta región se encuentra silente. El mecanismo neurofisiológico detrás de este fenómeno (disminución de la respuesta a estímulos externos) se atribuye a la actividad del tálamo

(véase la Figura 2), el cual cambia de un modo de constante actividad de las neuronas durante la vigilia a un modo en ráfagas durante el sueño no-MOR, lo que constituye una compuerta que transmite la información sensorial con una disminución, por lo que no se interrumpe el sueño.

En estudios con roedores también se ha encontrado una relación entre los husos y el sostenimiento del sueño. Si se estimulan las neuronas que producen los husos de sueño, los ratones continúan durmiendo en presencia de estímulos ruidosos, y su sueño no-MOR es menos fragmentado. Esto sugiere que el modo de actividad en ráfaga de las neuronas talámicas contribuye a bloquear la información sensorial, y los husos ayudan a consolidar el sueño.

■ **Los husos de sueño en las etapas iniciales del desarrollo cerebral**

En bebés humanos, los husos de sueño se registran entre las 6 y 8 semanas de edad, si bien las estructuras involucradas en la generación de los husos aún siguen madurando, por lo que estas oscilaciones se han propuesto como marcadores para el desarrollo del sistema nervioso. Sin embargo, desde antes de

la semana 28 de gestación se pueden observar oscilaciones muy parecidas a los husos de sueño sobre la región central de cerebro; después se van extendiendo a otras regiones, pero falta esclarecer si se trata de verdaderos husos de sueño en esta etapa del desarrollo, cuando el circuito tálamo-cortical aún no termina de madurar. Estas oscilaciones pueden ocurrir en cualquier fase del ciclo de sueño-vigilia, pero conforme el cerebro madura se restringen al periodo de sueño y se pueden desencadenar por los estímulos sensoriales de una manera similar a lo que vemos con los husos de sueño en personas adultas. Lo anterior sugiere que estas oscilaciones se iniciarían en los mismos circuitos que generan los husos y serían las precursoras de los husos de sueño en el cerebro maduro.

También en roedores se han estudiado estas oscilaciones antecesoras y se ha visto que están relacionadas con activaciones musculares repentinas —llamadas mioclonías—, así como con la estimulación táctil. Por ello, se piensa que estas activaciones pueden proporcionar información sensorial, lo que forma un mapa de la representación del cuerpo tanto en la corteza cerebral que codifica los estímulos táctiles como en la zona que participa en el control de los movimientos.

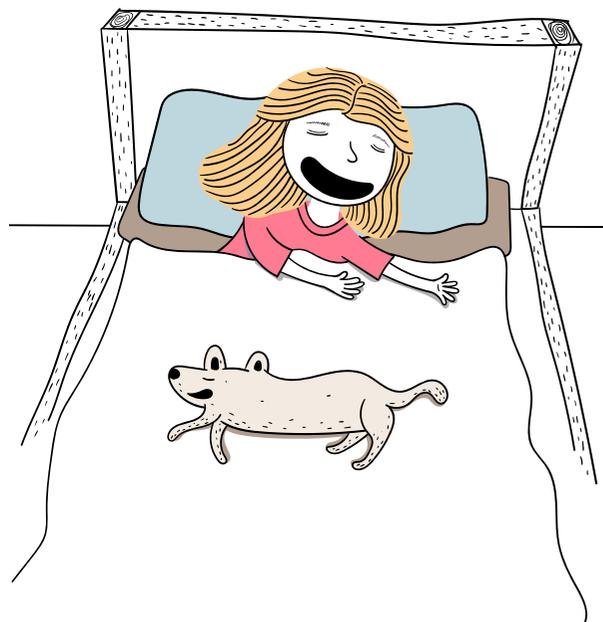
■ Los husos de sueño y la memoria

■ De manera significativa, se ha encontrado una relación positiva entre la ejecución de diferentes tareas de memoria y el número de husos de sueño. La memoria se puede clasificar en dos grandes grupos: no es lo mismo estudiar y recordar las capitales del mundo que aprender a andar en bicicleta; se ocupan diferentes sistemas cerebrales para aprender y memorizar estos dos tipos de actividades. A la memoria del primer grupo se le conoce como declarativa o explícita y la del segundo grupo es la memoria de procedimiento o implícita.

En la mayoría de las investigaciones en humanos se ha explorado la relación que hay entre los husos de sueño y la memoria de procedimiento. Con el diseño de tareas motoras que se pueden llevar a cabo y medir en un ambiente de laboratorio, los

participantes practican, por ejemplo, cómo oprimir botones en secuencias específicas usando diferentes dedos de una mano, que por lo general es la no dominante (mano izquierda si son personas diestras). Después del entrenamiento en este tipo de tareas con secuencias motoras se ha encontrado que, al día siguiente, los participantes que mejor realizan la tarea son aquellos que presentaron, en la noche anterior, una mayor duración de los husos de sueño y un mayor número de éstos. En repetidas ocasiones se ha reportado este resultado, sobre todo para los husos de sueño rápidos.

Esto mismo se ha investigado con dos grupos de participantes: después del entrenamiento en la tarea motora, a unas personas se les permite dormir una siesta durante el día, mientras que el segundo grupo, en vez de dormir, lleva a cabo otras actividades, como llenar formularios. El resultado muestra una mejoría de la habilidad motora en el grupo que durmió. Lo interesante de estos estudios es que permiten comparar entre las regiones de la corteza cerebral que controlan el movimiento de los dedos de la mano que se usó y la región de la corteza que controla el movimiento de la otra mano. Al hacer esta comparación se encuentra que la densidad de husos de sueño (número de husos por minuto) se relaciona directamente con la ejecución de la tarea



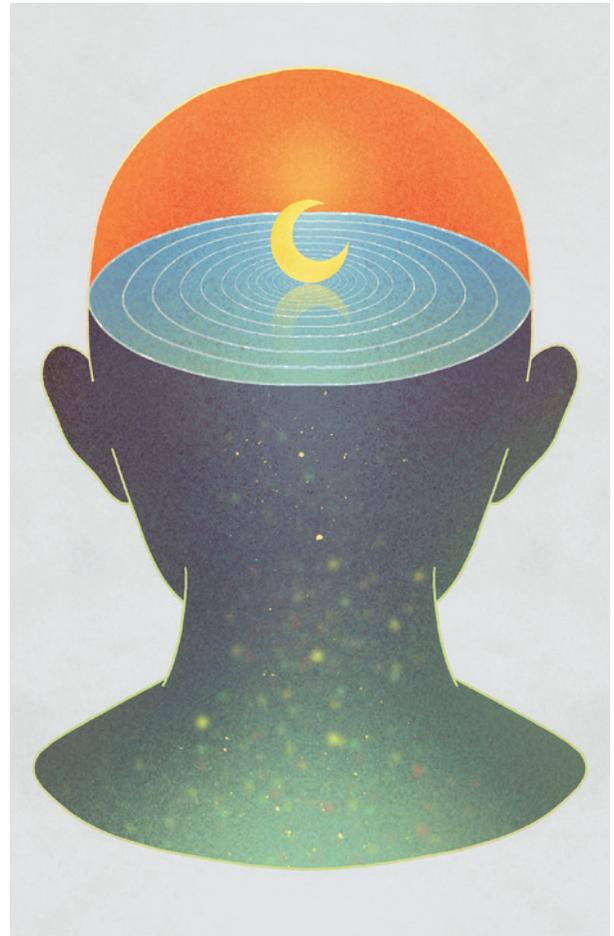
motora. Asimismo, la duración de la fase 2 de sueño, que tiene la mayor cantidad de husos, también se relaciona con la ejecución: después de entrenar una tarea motora, si se reduce en el experimento la cantidad de fase 2 de sueño, se presenta un mayor número de errores al día siguiente.

Aunque el sueño MOR se ha vinculado en mayor medida con la consolidación de la memoria episódica, algunos estudios sugieren que los husos de sueño también participan en la consolidación de esta información. Por ejemplo, se ha encontrado que la retención de la memoria verbal está relacionada con la cantidad de husos de sueño en las regiones frontales y centrales del hemisferio izquierdo, asociado al lenguaje. De igual manera, la retención de información visuoespacial después de 24 horas correlaciona con el número total de husos que se detectan sobre la región parietal (arriba de la nuca), la cual está relacionada con el procesamiento espacial.

¿Cómo participan los husos de sueño en la memoria y el aprendizaje?

A la fecha se siguen explorando los mecanismos neurofisiológicos que subyacen a la consolidación de la información a largo plazo durante el sueño. Parte de la evidencia corresponde al papel protector del sueño, que permite pasar por las diferentes fases y beneficiarse de los efectos que éstas tienen en la restauración del organismo y en la memoria, en específico. Sin embargo, en estudios recientes se ha revelado un mecanismo de comunicación con otras regiones cerebrales que parece participar de manera directa en la reorganización y consolidación de la información.

Los husos de sueño no aparecen aislados, sino embebidos en un ambiente de otras actividades neuronales. Durante el sueño, la corteza cerebral genera ondas lentas (menores de 1 Hz) que son el reflejo de las activaciones y desactivaciones sucesivas de extensas poblaciones de neuronas. Por otra parte, el hipocampo (estructura fundamental en la memoria) genera una actividad muy rápida (entre 80 y 140 Hz) posterior a una onda aguda, elemento conocido en inglés como *sharp-wave ripple*. Se ha visto que



los husos de sueño generados por el tálamo, las ondas menores de 1 Hz de la corteza cerebral y las *sharp-wave ripples* del hipocampo se sincronizan —es decir, coinciden en el tiempo— y esto sirve de sustento para la transferencia de información de un compartimento de corto plazo, como sería el hipocampo, a un compartimento a largo plazo, como sería la corteza cerebral (véase la Figura 2).

Se ha propuesto que estas estructuras cerebrales establecen un diálogo entre ellas por la sincronización de los disparos neuronales que favorecen la transferencia de información. Por una parte, se ha observado que la información aprendida en el día se repite mientras dormimos, y se sugiere que se está reactivando la misma secuencia de patrones de actividad cerebral para preparar los sitios de la corteza cerebral donde se modelarán las conexiones ya existentes, que representan experiencias y conocimiento pasado, con el fin de establecer nuevos

circuitos de conexiones que permitan la integración y estabilización del conocimiento nuevo. Es precisamente en este diálogo entre estructuras que los husos de sueño transfieren la información con una alta precisión temporal entre las actividades generadas en otras regiones cerebrales. Asimismo, se ha visto que la sincronización de estas actividades se intensifica después del aprendizaje declarativo.

■ **Actividad de los husos de sueño en estructuras profundas del cerebro**

■ En nuestro grupo de investigación trabajamos con pacientes que tienen epilepsia resistente al tratamiento farmacológico y que han sido implantados con electrodos profundos para medir las crisis epilépticas y ofrecer una alternativa de tratamiento quirúrgico. En los registros del hemisferio libre del foco epiléptico y sin actividad relacionada con la epilepsia, encontramos que la actividad de las neuronas del hipocampo y la corteza cerebral se sincronizan en la banda de frecuencia correspondiente a los husos de sueño (banda sigma) en el sueño no-MOR, lo cual sugiere una estrecha comunicación entre estas estructuras cerebrales. Esto apoya la propuesta de la transferencia de información probablemente de corto a largo plazo. Actualmente estamos explorando la contribución de regiones que participan en la codificación de información emocional, como la amígdala, ya que sabemos que la información emocional es susceptible de ser memorizada con mayor facilidad. Queda por esclarecer si los husos de sueño desempeñan una función particular en la consolidación de las memorias emocionales.

Los husos de sueño son elementos dinámicos que pueden favorecer la propagación de la información y la comunicación entre regiones cerebrales para contribuir en el control de la entrada sensorial con el objetivo de proteger el sueño de estímulos externos. Los husos de sueño constituyen una mi-

núscula parte de la gran cantidad de procesos que ocurren mientras dormimos. Recientemente se ha identificado que la coordinación con diferentes actividades cerebrales también es central para la consolidación de la memoria. En la medida en que la investigación siga avanzando, nos conducirá a una visión más integral de los eventos que emergen y a un mejor entendimiento de la organización funcional del cerebro para resolver el enigma de las funciones del sueño.

Zeidy Muñoz Torres

Facultad de Psicología, Grupo Dinámica Neural, Centro de Ciencias de la Complejidad (C3), Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

zeidy.munoz@c3.unam.mx

Este artículo tuvo el apoyo del proyecto Conacyt 263377.

Lecturas recomendadas

- Corsi-Cabrera, M. (1983), *Psicofisiología del sueño*, México, Trillas.
- Diekelman, S. y J. Born (2010), "The memory function of sleep", *Nature Reviews Neuroscience*, 11(2):114-126.
- Fernández, L. M. y Lüthi, A. (2020), "Sleep spindles: mechanisms and functions", *Physiological Reviews*, 100:805-868.
- Jouvet, M. (1998), *El sueño y los sueños*, México, FCE.
- "Master of Rhythms: Mircea Steriade", (2006), *Sleep*, 29(6):749. Disponible en: <doi.org/10.1093/sleep/29.6.749>, consultado el 21 de marzo de 2023.
- Muñoz-Torres, Z. y C. J. Montes-Rodríguez (2020), "Amygdala Oscillations and Plasticity during Sleep", en I. Ramírez-Salgado *et al.* (comps.), *Sleep, Cognition and Emotion: from Molecules to Social Ecology*, Hauppauge, Nova Medicine & Health, pp. 69-97.
- Walker, M. (2020), *¿Por qué dormimos?*, México, Ediciones Culturales Paidós.