

**Sueño normal en humanos**  
**Guadalupe Terán y Javier Velázquez Moctezuma**  
**Clínica de Trastornos de Sueño**  
**Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa**

El sueño es un proceso fisiológico en el cual los seres humanos pasamos una tercera parte de nuestra vida aproximadamente, por lo cual ha sido objeto de estudio desde finales de la década de los cincuenta. Una de las definiciones más utilizada es la de Michael Jouvett de 1964 en la que se conceptualiza al sueño como la disminución natural, periódica y reversible de la percepción del medio externo, conservando cierto grado de reactividad y de las funciones autónomas.

En los inicios del estudio del sueño, solo se definía por sus características conductuales como un periodo de reposo en el cual el individuo adopta una postura cómoda, cierra los ojos y disminuye el tono muscular en un estado de relajación aparente, sin embargo este concepto no es suficiente para entender la importancia de dormir y sus distintas patologías. Es por esto que el sueño actualmente se puede definir de acuerdo a sus características electroencefalográficas desde 1929 cuando el psiquiatra alemán Hans Berger registro por primera

vez y describió lo que hoy conocemos como ritmo alfa que es una actividad de 8 a 12 ciclos por segundo, rápida y de bajo voltaje, además observó que el ritmo que se presentaba durante el sueño era diferente al de la vigilia. Y llamo al registro de esta actividad electroencefalograma.

Estos estudios llevaron a la descripción de los distintos grafoelementos que definen a las fases del sueño por investigadores como Harvey, Hobart, Davis, Blake, Gerard y Kleitman. En el electroencefalograma del humano, fue caracterizado el sueño por la presencia de ondas lentas de gran amplitud y husos de sueño, mientras que la vigilia se caracterizó por ondas de baja amplitud y ritmo alfa y fue hasta 1951 que Aserinsky y su profesor Kleitman identificaron que durante el sueño se presentaban movimientos oculares rápidos describiendo así al sueño de movimientos oculares rápidos o MOR. Se continuo con el estudio del sueño, hasta observar que este era un fenómeno en el que las distintas etapas se repetían cíclicamente en periodos de 90 a 100 minutos, y a partir de este conocimiento se determino que para poder identificar las distintas etapas de sueño era necesario además del registro de la actividad eléctrica cerebral, el de los movimientos oculares y el tono muscular,

pues más adelante se observó que los movimientos y el tono de los músculos antigravitatorios también cambiaba durante el sueño, volviéndose prácticamente nulo durante el sueño MOR.

A partir de este conocimiento se utiliza a la polisomnografía como el estándar de oro para clasificar el sueño, de acuerdo a los grafoelementos que se presentan y en 1968 Rechtschaffen y Kales realizan el primer manual de identificación de las distintas etapas de sueño, mismo que se ha utilizado hasta el día de hoy, aunque la Academia Americana de Sueño realizó modificaciones en el 2007.

Actualmente se conocen 4 etapas de sueño, la etapa 1 se considera la etapa de transición en la cual aparece el ritmo theta de 3.5 a 7.5 ciclos por segundo acompañado de intrusiones de ritmo alfa. Se observa disminución en el tono muscular y en los movimientos oculares rápidos. La etapa dos tiene un ritmo theta predominante y se acompaña de husos de sueño que son periodos de actividad rápida que duran de .5 a 2.5 segundos y de complejos k, ondas agudas con un componente negativo seguido de uno positivo que duran hasta .5 segundos. Posteriormente aparece la etapa 3 en la cual se observan ondas delta de .5 a 3 ciclos por segundo entre el 20 y el 100% de una época (periodo de 30 segundos en el que se evalúan las etapas de

sueño). Y finalmente el sueño de movimientos oculares rápidos (MOR) en el cual se presenta actividad rápida de bajo voltaje, movimientos oculares rápidos en forma de espejo y atonía muscular. Algunos autores dividen al sueño en dos grandes etapas, el sueño MOR y el sueño sin movimientos oculares rápidos a las etapas 1,2 y 3. Durante la vigilia se observa ritmo beta, mayor a 12 ciclos por segundo, actividad muscular y movimientos oculares.

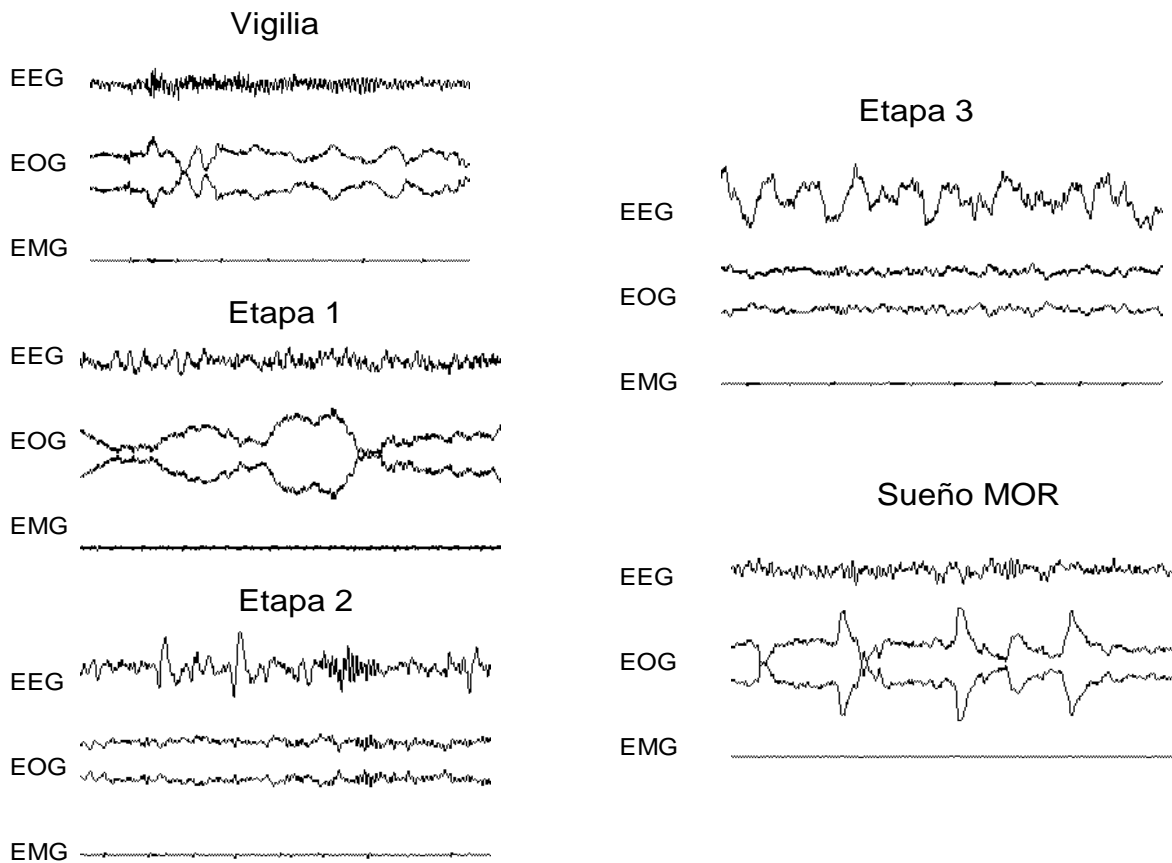


Figura 1. Descripción de las distintas etapas del ciclo sueño-vigilia.

Una vez que se han identificado cada una de las etapas en una noche de registro se puede formar lo que conocemos como hipnograma que es la representación grafica de las distintas etapas y a través del cual se puede ver como transcurren las etapas a lo largo de la noche y los ciclos de sueño que se presenten. Algo importante en el sueño normal es que la etapa 3 se presenta principalmente en la primera mitad de la noche y durante la segunda el sueño MOR.

### Hipnograma de un ser humano sano

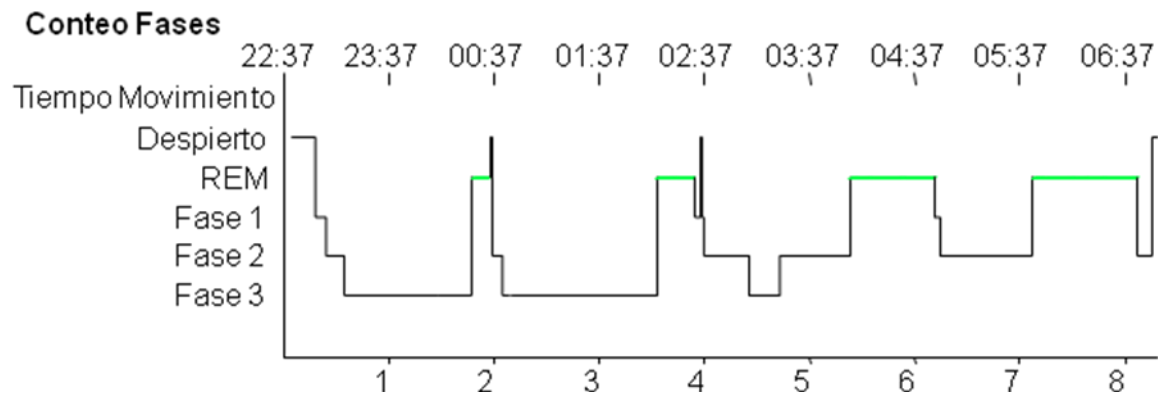


Figura 2. Hipnograma de 8 horas de un voluntario sano.

Estas etapas de sueño se van a presentar en todos los seres humanos y van a presentarse de forma distinta a lo largo de toda la vida, en la infancia predomina el sueño de ondas lentas o etapa 3 y el

sueño MOR sin embargo ambos van disminuyendo conforme la edad avanza, siendo los ancianos quienes pasan menos tiempo en sueño profundo y aumentan el porcentaje de vigilia.

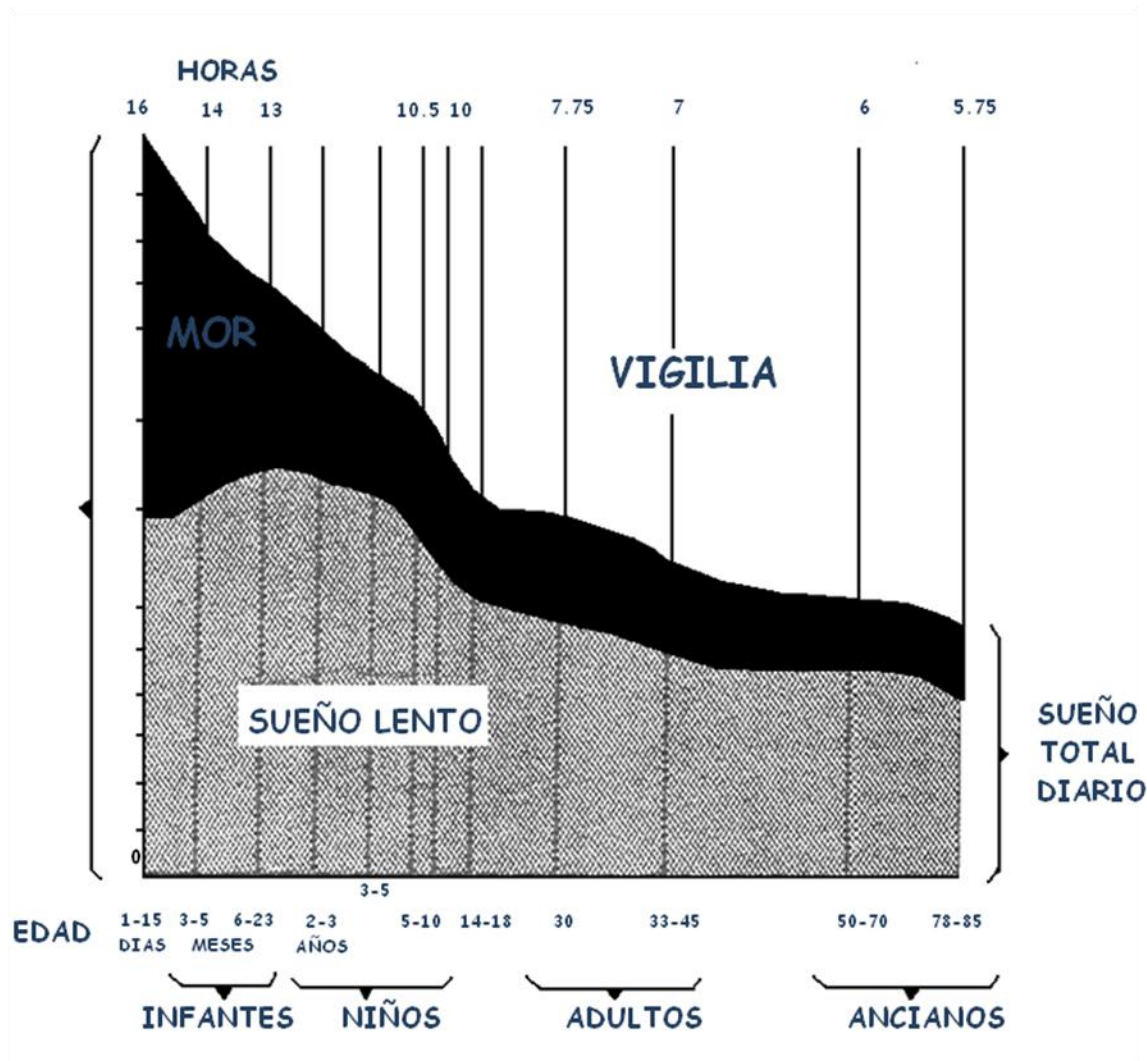


Figura 3. Distribución del sueño en las diferentes etapas de la vida.

## **Privación del sueño**

Para poder entender más de la fisiología del sueño y de sus funciones además de la importancia del mismo se han realizado estudios de privación de sueño en humanos, en los que a voluntarios sanos se les somete a periodos de privación que van de 24 hasta 200 horas y se han observado posteriormente signos de fatiga, alteraciones cognitivas e irritabilidad, además de disminución en la capacidad de discriminación. En algunos casos aparecían alucinaciones y trastornos del equilibrio, de la visión y del lenguaje.

También se han hecho estudios de privación selectiva de sueño MOR, aunque esta no puede mantenerse por mucho tiempo, ya que episodios de microsueños invaden en forma incontrolable la vigilia. En estudios con animales se observa que la privación total de sueño en ratas demostró que estos animales mueren al cabo de 15-22 días en una situación de disminución funcional general, con trastornos neurológicos y del comportamiento.

Es por esto que se han realizado múltiples investigaciones intentando entender para que dormimos y cuáles son las repercusiones de dejar de hacerlo.

### **Procesamiento de la información sensorial durante el sueño**

Por mucho tiempo se pensó que cuando un sujeto dormía se apagaba su organismo impidiéndole reaccionar a estímulos exógenos o endógenos, sin embargo ahora se sabe que el cerebro no se apaga, por el contrario sigue trabajando en una forma distinta a la vigilia con un importante grado de reactividad al medio.

Ahora sabemos que la información que ingresa del mundo exterior y del cuerpo (interna), tanto consciente como inconsciente, procede de los receptores sensoriales correspondientes y puede ser evaluada por el SNC. Esta información relaciona al individuo con el ambiente y lo mantiene, además, en estrecho contacto con su medio interno, sus vísceras, músculos y articulaciones. Estas entradas sensoriales en un sujeto dormido son potencialmente, aunque no necesariamente, “alertantes”.

Las reacciones psicomotoras a estímulos del ambiente disminuyen claramente durante el sueño, por lo que nos encontramos relativamente aislados del ambiente. Sin embargo, desde el punto de vista electrofisiológico, los potenciales evocados o las respuestas de ciertas poblaciones neuronales registradas en forma unitaria son comparativamente mayores durante el sueño N-MOR que durante la vigilia. Este hecho, en apariencia paradójico, se demostró en relación con la información visual y auditiva. Los potenciales provocados auditivos talámicos y corticales tienen más amplitud en el sueño NMOR que en la vigilia y el sueño MOR. El sistema auditivo es un sistema telorreceptor relativamente “abierto” durante el sueño. Esta posibilidad de entrar en contacto auditivo con el mundo exterior debió de haber sido importante desde el punto de vista filogenético para la supervivencia de especies más débiles y les permitió despertar y desarrollar una adecuada reacción frente a un predador. Actualmente seguimos utilizando el sistema auditivo para provocar nuestro despertar diario. Son muchos los datos experimentales que actualmente avalan la idea de que todo el sistema auditivo, desde el receptor coclear hasta las neuronas corticales, siguen procesando información durante el sueño, aunque de forma diferente a la vigilia.

Los cambios en las descargas neuronales constatados a lo largo de toda la vía serían los mecanismos electrofisiológicos que subyacen a los procesamientos continuos de información sensorial que acontecen aun mientras dormimos. Asi somos capaces de percibir un estímulo auditivo, procesarlo, compararlo con información guardada en la memoria y tomar decisiones tales como despertar o seguir durmiendo.

### **Funciones cardiovasculares**

La presión arterial (PA) media disminuye durante el sueño. Las cifras mínimas se registran en la etapas 3 del sueño N-MOR. En el hombre, la PA del sueño MOR se vuelve variable y presenta incrementos transitorios, que se superponen a la hipotensión tónica existente. Estos aumentos de PA coinciden con los eventos fásicos del sueño MOR (sacudidas musculares). Al despertar, cualquiera que sea la etapa del sueño en la que se estuviese, la PA recupera rápidamente su valor inicial. La presión de la arteria pulmonar se mantiene estable durante todas las etapas del sueño. La frecuencia cardíaca se reduce en el sueño N-MOR, particularmente en la etapas 3. Durante el sueño MOR se vuelve variable, sobre todo durante la actividad fásica. El

gasto cardíaco se reduce moderadamente tanto en el sueño N-MOR como en el sueño MOR y constituye otro elemento que contribuye al descenso de PA citado. Dado que puede producirse una disminución de la PA de un 10% y una disminución de la frecuencia cardíaca de un 6% sin cambios en el gasto cardíaco, la hipotensión del sueño deberá depender además de la existencia de una vasodilatación. Existen períodos de vasoconstricción en los músculos esqueléticos durante el sueño MOR, que pueden ser la causa de los incrementos fásicos que ocurren en esta etapa.

### **El flujo sanguíneo cerebral**

Los resultados de trabajos en seres humanos durante el sueño N-MOR han mostrado con diversas técnicas la existencia de aumentos o disminuciones globales del flujo asociadas a variaciones regionales. Los estudios en seres humanos y animales coinciden en la existencia de un incremento significativo del flujo cerebral en el sueño MOR, y se describen aumentos fásicos que se superponen al aumento tónico. Los mecanismos responsables de estos cambios no están claramente caracterizados, aunque existen datos que sugieren que serían

respuestas a variaciones metabólicas locales que determinarían variaciones locales de flujo.

El registro de la disponibilidad de oxígeno cerebral estudiada en gatos durante el sueño MOR muestra una distribución topográfica particular del consumo y el aporte de O<sub>2</sub>, que se ha denominado 'sistema de pO<sub>2</sub> del sueño MOR'. Estas grandes oscilaciones de la pO<sub>2</sub>, postuladas como resultado de una disminución del control homeostático local, se han interpretado también como una degradación mayor de la glucosa en condiciones anaeróbicas durante los incrementos de actividad neuronal.

La vasomotricidad neurogénica es otro elemento que ha sido involucrado en la regulación circulatoria cerebral, aunque este aspecto aún no está suficientemente investigado. El acoplamiento flujo sanguíneo-actividad neuronal es lo más aceptado, y el oxígeno es el factor metabólico de mayor relevancia. Los datos experimentales de la última década, que muestran una reducción global del flujo sanguíneo cerebral durante la noche con valores post-sueño significativamente menores que los valores de flujo pre-sueño, apoyarían la clásica hipótesis de la función restauradora del sueño. Una vez colmadas las necesidades del sueño, cualesquiera que fuesen, la reanudación del

nivel operacional del cerebro ocurriría con un menor costo metabólico durante la vigilia inmediatamente posterior al sueño. En el correr de la vigilia se iría instalando una 'deuda de sueño' que se manifestaría como una creciente propensión al sueño y sería 'pagada' durante éste. Dado que las etapas de sueño de ondas lentas son más duraderas al comienzo de la noche y declinan exponencialmente con las horas con un curso temporal similar al del flujo sanguíneo cerebral, algunos autores especulan sobre una asociación funcional entre ambas variables; esto es, a medida que va disminuyendo el flujo sanguíneo cerebral en el transcurso de la noche van desapareciendo las etapas con predominio de ondas lentas.

### **Estudios de imagen**

Los estudios realizados en seres humanos mediante tomografía de emisión de positrones (PET) abren un nuevo campo en la investigación de los procesos del sueño. Maquet ha demostrado, con PET y 2-deoxi-D-glucosa marcada, una disminución del metabolismo de la glucosa cerebral durante el sueño N-MOR en un 12% en comparación con la vigilia en tanto que el sueño MOR produjo un incremento general de 16%. Existen pruebas experimentales que

demuestran que la actividad cortical, además de estar influida por los procesos que generan las configuraciones electrofisiológicas globales específicas del sueño, está involucrada en nuevas experiencias, es reactivada y aumenta su conectividad funcional en los episodios de sueño MOR que siguen a un entrenamiento nuevo.

El PET en seres humanos ha demostrado que las regiones menos activadas durante el sueño N-MOR están localizadas en la protuberancia dorsal y mesencéfalo, el cerebelo, el tálamo, los ganglios basales, el hipotálamo y la corteza prefrontal.

Por otra parte, durante el sueño MOR se encontraron especialmente activados el tegmento pontino, algunos núcleos talámicos, el complejo amigdalino, el hipocampo, la corteza del cíngulo y las cortezas posteriores temporo-occipitales. Estos estudios, aún en curso, si bien anuncian progresos, no nos deben conducir a fraccionar el cerebro como ocurrió a finales del siglo XIX en el apogeo de la frenología. Es necesario que el SNC funcione en su totalidad para generar y mantener el sueño, por lo que tanto las regiones que se activan como aquellas que disminuyen su actividad son, de hecho, necesarias para cumplir con sus funciones.

## **Cambios respiratorios**

La ventilación pulmonar es controlada durante la vigilia por un mecanismo triple: el metabólico, que asegura la homeostasis del O<sub>2</sub> y del CO<sub>2</sub> arterial a través de informaciones provenientes de los quimiorreceptores centrales y periféricos; el control voluntario, que permite adaptar la ventilación a las distintas necesidades, como son la fonación, la tos, etc.; y las motoneuronas espinales, que inervan los músculos respiratorios y reciben influjos tónicos que mantienen su nivel de potencial de membrana en un cierto grado de despolarización. El control metabólico se integra a nivel bulbo-protuberancia y finalmente provoca los cambios necesarios para activar los músculos respiratorios. El control voluntario implica seguramente mecanismos corticales frontales.

Los cambios respiratorios que se presentan tanto en el sueño N-MOR como en el MOR son el reflejo de la supresión de los controles ligados a la vigilia y se deben también al predominio del control metabólico en el sueño N-MOR y a una disminución de este control en el SP. En este último se instala un control propio, no homeostático y la ventilación no depende ya del control metabólico.

Las etapas 1 y 2 del sueño N-MOR provocan un ritmo respiratorio inestable con sucesivas hipoventilaciones e hiperventilaciones denominadas 'ventilación periódica'. En la etapas 3, la ventilación se vuelve regular, de mayor amplitud y menor frecuencia respiratoria, y se produce un leve descenso del volumen por minuto. Esto se asocia a una disminución del nivel metabólico y a variaciones en el control central de la respiración. El inicio del sueño N-MOR libera mecanismos automáticos de control con inactivación de los mecanismos telencefálicos que se activan en la vigilia. En las etapas 1 y 2 del sueño N-MOR se observa una inestabilidad respiratoria con la aparición de fenómenos periódicos que luego se estabilizan en una respiración regular en la etapa 3. Hay un incremento de la presión parcial de CO<sub>2</sub> alveolar, con una disminución de la presión parcial de O<sub>2</sub> tanto alveolar como arterial. La respuesta de los quimiorreceptores al CO<sub>2</sub> está moderadamente reducida, mientras que la respuesta a la hipoxia no cambia. La frecuencia y la profundidad respiratoria son relativamente constantes; la etapas 3 es un período estable desde el punto de vista respiratorio.

El ritmo respiratorio durante el sueño MOR se caracteriza por ser más rápido y sobre todo irregular, con episodios apneicos y de

hipoventilación. El mecanismo responsable es central y neuronal, y se le agrega la hipotonía muscular, que tiene un doble efecto: por un lado, disminuye la fuerza de expansión de la caja torácica y, por otro, aumenta la resistencia de las vías aéreas superiores al paso del aire. El diafragma mantiene una actividad irregular.

### **La temperatura corporal**

Durante la vigilia de los animales homeotermos existe una interacción constante entre los mecanismos hipotalámico y cortical de control de la temperatura corporal. Al comenzar el sueño N-MOR, se produce una inactivación del control cortical y se liberan, por lo tanto, los mecanismos automáticos. Durante el sueño MOR, la situación fisiológica cambia totalmente y todas las formas de regular la temperatura se suspenden. Dada la disminución del tono muscular y la falta de temblor, no existe la posibilidad de producir calor. La temperatura corporal cae a lo largo de la noche y los niveles más bajos se alcanzan en las últimas horas de sueño. Los incrementos de la temperatura de la piel coinciden con los períodos del sueño N-MOR.

Los trabajos de Parmeggiani de las últimas décadas han demostrado que la correlación entre la temperatura corporal y la ambiental es cambiante y dependiente del momento del ciclo vigilia-sueño que se analiza. Un gato sometido a cambios de temperatura ambiental es capaz de controlar y mantener constante su temperatura corporal durante la vigilia y el sueño N-MOR, en tanto que al ingresar en el sueño MOR, la temperatura corporal aumentará si el ambiente es cálido y disminuirá en un ambiente frío. Podemos asumir, entonces, que en el sueño N-MOR se mantiene la homeotermia, mientras que durante el MOR el animal pasa a un estado similar al de un poiquilotermino transitorio.

## **Cambios en otras funciones**

### Funciones renales

La filtración glomerular, el volumen de orina y la excreción de sodio, potasio y calcio disminuyen durante el sueño. La cantidad de orina excretada durante el N-MOR es menor que durante la vigilia y su concentración es mayor. Durante el

MOR aumenta aún más la concentración urinaria y disminuye más la excreción.

### Funciones digestivas

En los seres humanos cuyo aparato digestivo es normal, algunos estudios muestran disminuciones de la acidez gástrica durante el sueño, en tanto que en pacientes con úlceras duodenales se comprueba un aumento de la secreción ácida del estómago no asociada a ninguna etapa particular del sueño.

### Funciones sexuales

Se ha comprobado en seres humanos de edades comprendidas entre los 3 y los 79 años que durante la etapa de sueño MOR ocurre la erección o tumescencia del pene, aunque en adolescentes no está sólo confinada a esta etapa. Aunque su papel funcional sigue siendo desconocido, la presencia o ausencia de erección durante el sueño se utiliza para el diagnóstico diferencial entre la impotencia orgánica y la psicogénica. En la mujer se observan erecciones en el clítoris y un incremento del flujo sanguíneo vaginal.

## Conclusiones

Es importante mencionar que el sueño sigue siendo un proceso complejo con múltiples funciones en el ser humano, sin embargo poco a poco se avanza mas en el conocimiento de este permitiendo también avanzar en el tratamiento de las diversas enfermedades que se pueden presentar en este periodo.

Ahora sabemos que nuestro cerebro trabaja intensamente mientras dormimos y que de la calidad de este depende nuestro desempeño durante el día.

También se sabe que el sueño es un proceso cíclico que depende de factores tanto internos como externos y lo más importante es entender que necesitamos dormir de forma adecuada para tener una vigilia de buena calidad.

## **Lecturas recomendadas**

- American Academy of Sleep Medicine. 2007. The AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events. Westbrook Corporate Center. USA.
- Carney, P., Berry, T., Geyer, J. Clinical Sleep Disorders. Lippincott Williams and Wilkins. Philadelphia PA. pp. 101-112.
- Rechtschaffen A & Kales A. 1968, A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects, Brain Information Service University of California, Los Angeles, California.