

Los ritmos biológicos y el aprendizaje

Verónica S. Valentinuzzi

Centro de Investigación Científica y Transferencia, CRILAR-CONICET,
Anillaco, La Rioja, Argentina
vvalentinuzzi@crilar-conicet.com.ar

John Fontenele Araujo

Departamento de Fisiología de la Universidad Federal de Río do Norte
(UFRN), Natal, Brasil
araujo@cb.ufrn.br



RESUMEN

La relación cronobiología-ciencias cognitivas evalúa cómo los ritmos y el proceso de aprendizaje se afectan mutuamente. Nuestras capacidades cognitivas expresan su propia ritmicidad que depende de características de la tarea, contexto e individuo. Cada tipo de tarea es rítmica, muchas veces relacionada con el ritmo de temperatura corporal. Las obligaciones sociales (escuela, trabajo, etc.) imponen un horario diario que puede condicionar el sistema circadiano. El conocimiento de la relación ritmos-aprendizaje permitirá aumentar la eficiencia de nuestro propio aprendizaje, así como refinar nuestras rutinas diarias según las necesidades del medio ambiente.

PALABRAS CLAVES

Ritmos biológicos, ritmos circadianos, reloj biológico, aprendizaje y memoria, condicionamiento, cronobiología, ciencias cognitivas.

ABSTRACT

The Chronobiology-Cognitive Sciences relationship reveals how biological rhythms affect learning and, conversely, how learning processes can affect rhythmicity. Cognitive processes express rhythmicity which depends on features of the task, context and individual. Each type of task is rhythmic, and many times intimately related with the body temperature rhythm. Our daily social obligations (school, work, etc) may condition our circadian system. As we learn about the rhythms-learning relationship we can increase efficiency in our own learning processes and to fine tune our daily routines according to the demands of our environment.

KEYWORDS

Biological rhythms, circadian rhythms, biological clock, learning and memory, conditioning, chronobiology, cognitive sciences.



Artículo publicado en la Revista *Ciencia*, Vol. 59, No. 1, de Ene-Mar 2008, y reproducido con la autorización de la Academia Mexicana de Ciencias y de los autores.

¿Cuál es el mejor horario para estudiar para la prueba de la próxima semana?
¿Debo levantarme temprano para estudiar, o es mejor hacerlo durante la tarde?
¿O debo permanecer despierto durante la noche? ¿En que horario voy a aprender

más y mejor? ¿Será que mañana podré despertarme a tiempo para no llegar tarde al trabajo? ¿Escucharé el despertador? Éstas son algunas preguntas que podrían ser respondidas relacionando dos grandes áreas de estudio, por un lado la cronobiología y por otra las ciencias cognitivas.

La cronobiología estudia la organización temporal de los organismos vivos, la cual es revelada a través de los diversos ritmos biológicos que se manifiestan en prácticamente todas nuestras variables fisiológicas y de conducta. Por ejemplo, el ritmo conductual más obvio es el ritmo sueño-vigilia (figura 1). La mayoría de nosotros dormimos durante la noche y permanecemos despiertos y activos durante el día: somos organismos diurnos.

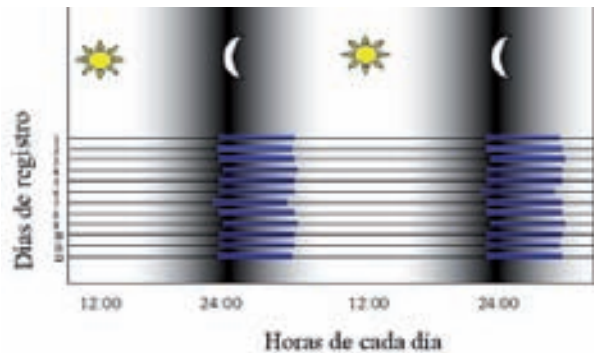


Fig. 1. Ritmo de sueño-vigilia en un ser humano normal. Si anotamos diariamente las horas en que dormimos (barras gruesas) por varios días es posible visualizar claramente este robusto ritmo biológico. Horizontalmente están representadas las horas. Verticalmente están representados 12 días de registro. En este ejemplo, este individuo se va a la cama regularmente a media noche y se despierta alrededor de las 6 de la mañana.

Acompañando este ritmo conductual se presentan diversos ritmos fisiológicos (figura 2). Por ejemplo, el nivel sanguíneo de cortisol (una hormona relacionada con la actividad) es alto durante las primeras horas de la mañana, y va disminuyendo gradualmente hasta llegar a un punto mínimo durante la noche. El nivel de melatonina (hormona relacionada al sueño) tiene un patrón opuesto: bajo durante el día, alto durante la fase de sueño. La temperatura corporal tiene un ritmo similar al del cortisol. La hormona de crecimiento permanece en valores mínimos durante la mayor parte del día, pero tiene un pico durante las primeras fases de sueño. Prácticamente todas las variables fisiológicas manifiestan un ritmo biológico, que en

los ejemplos dados tienen una duración de 24 horas: por ellos se dice que son ritmos circadianos (del latín *circa*: alrededor y *diano*: día). Esta ritmicidad es controlada y generada por “relojes biológicos”: los núcleos supraquiasmáticos, localizados en una estructura cerebral llamada hipotálamo.

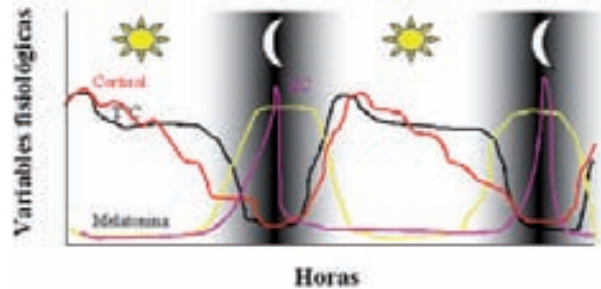


Fig. 2. Muchos son los ritmos de la vida; por ejemplo, aquí mostramos la variación circadiana de la temperatura corporal y niveles sanguíneos de tres hormonas (cortisol, melatonina y hormona de crecimiento) a lo largo de dos días consecutivos.

Las ciencias cognitivas, por su parte, estudian nuestras capacidades cognitivas, por ejemplo, la capacidad de aprender y de recordar aquello que aprendimos. Podemos definir “aprendizaje” como un cambio en el comportamiento como resultado de una experiencia previa.

Una forma de aprendizaje básica y muy estudiada es el condicionamiento clásico o Pavloviano (llamado así por el investigador ruso Iván Pavlov, quien lo estudió por primera vez). Pavlov analizó cómo una experiencia podía cambiar la respuesta de salivación de perros de la siguiente forma: se sabe que la presencia de comida (estímulo no condicionado) produce naturalmente la respuesta de salivación (respuesta no condicionada). Es “no condicionada” porque no es necesaria una experiencia previa para que la respuesta se presente. Es posible presentar un “estímulo neutro”, o sea, que normalmente no produce salivación en los perros, inmediatamente antes de la comida (el estímulo no condicionado), por ejemplo, el sonido de una campana. Este sonido sería el “estímulo condicionante”, porque puede “condicionar” la respuesta del animal.

El procedimiento consiste en presentar el sonido de la campana (estímulo condicionante) junto con la presentación de la comida (estímulo no

condicionante). Después de varios apareamientos de este estilo, el animal establece una asociación entre el sonido y la comida, de forma que cuando se presenta sólo el sonido, éste produce la respuesta de salivación. En otras palabras, el animal aprende que el sonido señala la llegada de la comida, y por tanto responde salivando ante el sonido. Hubo un cambio de su respuesta como resultado de una experiencia.

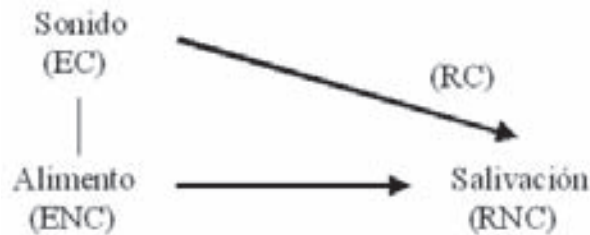


Fig. 3. Esquema del apareamiento entre dos estímulos (sonido y alimento) que eventualmente determina que el animal pase a responder al sonido como si estuviese respondiendo al alimento.

Este tipo básico de aprendizaje ocurre constantemente, modulando o cambiando radicalmente nuestros comportamientos y reacciones fisiológicas. Y en general ocurre de forma totalmente inconsciente (o sea, no nos damos cuenta que está ocurriendo). También existen otras formas de aprendizaje, mucho más complejas, que implican la activación de diversas estructuras cerebrales y que son ampliamente estudiadas en las ciencias cognitivas. Por ejemplo, el hipocampo es una estructura cerebral responsable de nuestra capacidad de recordar qué hicimos ayer, qué comimos anoche en la cena, a dónde fuimos durante nuestras últimas vacaciones, cómo estuvo el casamiento de nuestra hermana, etcétera; todos los eventos de nuestra vida.

Considerando que casi todas las variables fisiológicas y conductuales presentan una ritmicidad circadiana, parece lógico preguntarnos si también existen ritmos en procesos de aprendizaje y memoria. Existe toda un área de investigación que intenta responder esta pregunta, estudiando el desempeño en tareas de aprendizaje a lo largo de las diferentes horas del día, tanto en humanos como en modelos animales.

Creemos que, por ahora, la respuesta no ha podido contestarse, debido a que el desempeño en pruebas de aprendizaje depende de muchos factores, entre

ellos la especie animal estudiada, las exigencias cognitivas de la tarea, los estímulos utilizados, el tipo de respuesta exigida, las condiciones experimentales y las características individuales. En el ser humano se ha constatado que el desempeño en aprendizaje depende del ciclo sueño-vigilia (incluyendo la calidad y duración del sueño), de patrones de actividad física o intelectual, de hábitos y costumbres como el patrón de alimentación, de patrones sociales, condiciones ambientales en las que se realizan las pruebas e inclusive, de la época del año o del día de la semana. También se debe considerar el grado de matutinidad o vespertinidad de las personas. Éstas son características determinadas genéticamente, y determinan cuál es el horario natural para despertar. Las personas matutinas son las que tienen una tendencia a irse a dormir temprano (por ejemplo, entre 21:00 y 22:00 horas) y a despertarse temprano (entre 5:00 y 6:00 horas). Otras personas son de tipo vespertinas: tienen una fuerte tendencia a permanecer despiertos hasta tarde (por ejemplo, 2:00 o 3:00 de la mañana) y consecuentemente duermen hasta más tarde la mañana siguiente (10:00 a 11:00 de la mañana). Sin embargo, la mayor parte de la población es de tipo intermedio: se ajusta bien a cualquier horario. De esto podemos deducir que, en general, una persona matutina va a estudiar más eficientemente de mañana y una persona vespertina tendrá un mejor rendimiento durante el final del día. Aunque, como mencionamos, hay que tener en cuenta que ésta no es la única fuente de variación temporal en nuestra capacidad de aprender.

Un estudio clásico analizó el desempeño en tres tipos de tareas a lo largo del día, y lo correlacionó con el ritmo de la temperatura corporal y el estado de alerta subjetiva (Folkard, 1990). Se observaron marcados ritmos diurnos en la capacidad de corregir eficientemente un texto, en el desempeño en una tarea de memoria operacional (razonamiento verbal y cuentas aritméticas mentales) y en una tarea que incluye memoria a corto plazo (lectura de un párrafo y respuesta inmediata a un cuestionario relacionado). Estos tres tipos de desempeños manifestaban patrones temporales diferentes entre sí durante la jornada activa de 14 horas (figura 4).

La capacidad de corregir eficientemente un texto sigue paralelamente el ritmo de temperatura corporal: manifestaba un mínimo al comienzo de la mañana y

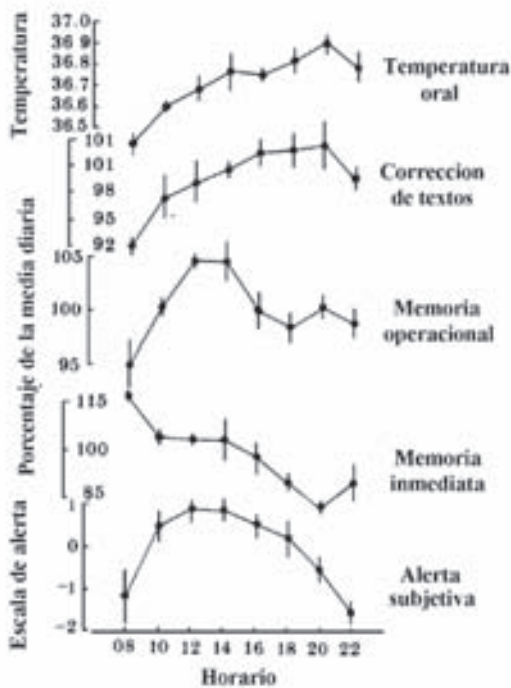


Fig. 4. Temperatura en grados centígrados, tres tipos de desempeños cognitivos, y estado de alerta auto-evaluado, en función de las horas del día activo (según Folkard, 1990).

aumentaba durante el día, hasta llegar a un máximo hacia el final de la tarde. Por su parte, la memoria a corto plazo muestra una variación totalmente opuesta al ritmo de temperatura: tiene un máximo de mañana y disminuye durante el día. Por otro lado, la velocidad en la memoria operacional aumentaba durante la mañana y disminuía progresivamente durante la tarde. Sorprendentemente, ninguna de estas variables estaba correlacionada con el estado de alerta subjetivo, que manifestaba un patrón rítmico totalmente diferente a las tres variables anteriores y se caracterizaba por tener la forma de una U invertida. Este estudio sugirió que cada tipo de tarea manifiesta su propio ritmo. Otros trabajos que analizan las mismas variables en los mismos horarios, pero utilizando el “protocolo de rutina constante”, (Valdez y colaboradores, 2008) han encontrado datos diferentes (ver figura 5).

El patrón de 24 horas de las variables de alerta subjetiva y de número de cálculos por minuto acompaña paralelamente al ciclo de temperatura corporal. En la memoria a corto plazo, por su lado, se observa un declive durante las primeras 10 horas,

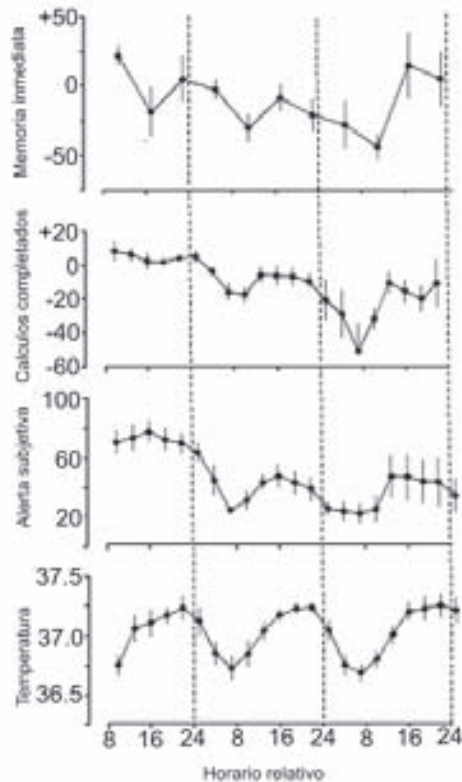


Fig. 5. Memoria a corto plazo, cálculos completados, alerta subjetiva y temperatura corporal en centígrados. Valores medios de cinco individuos durante una rutina constante. Los datos de cada horario de colecta fueron normalizados con respecto a la hora habitual en que cada individuo se despertaba (al cual se le asignaba el horario de referencia 8:00h). (Según Johnson y colaboradores, 1992).

momento en que la temperatura está subiendo gradualmente. Sin embargo, en el siguiente ciclo el patrón temporal de memoria a corto plazo, al igual que el patrón de estado de alerta y cálculos, sigue el mismo patrón que el ciclo de temperatura corporal. En conclusión, todas las tareas parecen seguir el mismo ritmo que la temperatura corporal.

Existe un fenómeno en que la hora del día puede afectar el desempeño cognitivo: es conocido como “estampa temporal” (Holloway y Wansley, 1973). Este fenómeno se observó inicialmente en ratas de laboratorio sometidas a una forma de aprendizaje que se llama “evitación pasiva”. Esta prueba consiste en colocar las ratas en una caja experimental dividida en dos compartimentos. Uno es abierto e iluminado, y el otro es cerrado y oscuro. Las ratas, por ser animales nocturnos que

normalmente viven en túneles y cuevas, tienen una tendencia innata a preferir la parte oscura y protegida de la caja. Al entrar la rata a la parte oscura de la caja recibe un choque eléctrico, que provoca que huya inmediatamente a la zona iluminada. Al día siguiente, cuando se coloca nuevamente en la caja, tendrá una tendencia a permanecer en la parte abierta. Esto ocurre porque el animal aprende a relacionar la parte oscura con la experiencia desagradable que tuvo el día anterior.

La forma de cuantificar qué tanto recuerda la rata la experiencia previa es medir la demora (latencia) para entrar a la parte oscura de la caja. ¿Cómo afecta la hora del día el desempeño en este tipo de tarea? La respuesta está en la figura 6: se observó que cada 24 horas el desempeño es muy bueno; las ratas no entran en la parte oscura de la caja, y por tanto la latencia es elevada. Pero cuando hace la prueba a otras horas, el desempeño es malo: las ratas siguen ingresando a la zona oscura de la caja, como si no recordasen la pésima experiencia del choque. En otras palabras, sólo cuando coinciden los horarios de aprendizaje y de evocación o recuerdo en la prueba se observa un desempeño adecuado.

Este fenómeno, observado en modelos animales, parece estar presente también en el ser humano. Es conocido que se recuerda mejor una información aprendida cuando el estado mental y el contexto son semejantes. Una forma de explicar esto es volviendo

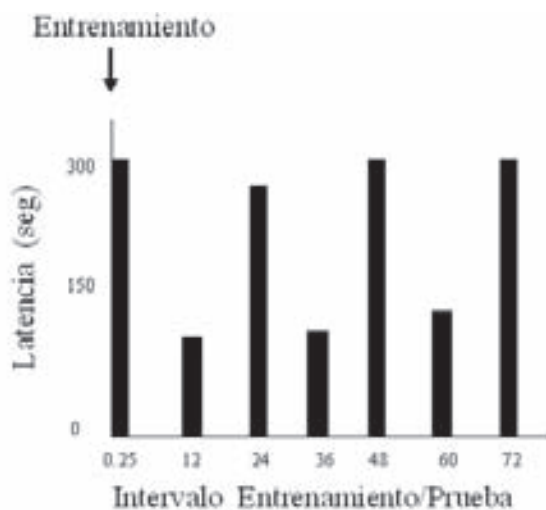


Fig. 6. Tiempo de latencia en ratas para entrar en la parte oscura de la caja experimental durante pruebas de esquiva pasiva en función del intervalo entrenamiento-prueba. El entrenamiento ocurrió en el tiempo cero.

a la figura 2. Imaginemos que aprendimos algo durante la mañana, momento en que estamos en un estado fisiológico en que hay un nivel alto de cortisol y de temperatura, y un nivel bajo de melatonina y hormona de crecimiento. Imaginemos, también, que por algún motivo específico necesitamos recordar la información durante la noche, en un momento en que nuestro estado fisiológico es totalmente opuesto, niveles bajos de cortisol y temperatura, niveles altos de melatonina y hormona de crecimiento. Parece obvio que es más fácil recordar cuando la condición de nuestro cuerpo se parece a la condición en que aprendimos. De alguna manera el contexto de nuestro estado fisiológico ofrece claves para una mejor evocación. Podríamos sugerir que una buena estrategia de estudio sería mantener una rutina diaria de estudios (por ejemplo, estudiar matemática de mañana y lenguaje a la tarde), y que esta estrategia pudiera facilitar el desempeño en cada materia, por lo menos hasta que la información sea consolidada totalmente.

Hasta ahora vimos que nuestros ritmos biológicos pueden afectar nuestra capacidad cognitiva. Sin embargo, la relación entre ritmos biológicos y procesos de aprendizaje no termina ahí. Podemos también modificar nuestros ritmos por procesos de aprendizaje. Existe una extensa literatura demostrando esto en modelos animales. En el ser humano, a pesar de que no existen muchos datos concretos, hay fuertes evidencias de que podemos modular nuestros ritmos endógenos a través de procesos de aprendizaje de tipo Pavloviano (el condicionamiento clásico explicado en el inicio de este texto).

Las rutinas diarias contribuyen al establecimiento de nuestras rutinas circadianas. Muchas obligaciones sociales comunes como la escuela, el trabajo y los compromisos sociales en general, que imponen un horario diario, influyen sobre nuestro sistema circadiano enviando señales temporales posiblemente a través de procesos de condicionamiento del mismo. Por ejemplo, es conocido que muchas personas pueden programarse para despertar a cierta hora, de forma que con el tiempo logran despertarse espontáneamente inclusive unos minutos antes de que el despertador suene. De igual manera sabemos que nuestro sistema digestivo puede programarse para ir al baño a horas determinadas, o que podemos

sentir hambre en anticipación a la hora en que regularmente comemos.

En conclusión, los ritmos biológicos y los procesos de aprendizaje están íntimamente relacionados, y sin duda en la medida en que se conozca mejor su relación, podremos aprovechar este conocimiento para aumentar nuestra eficiencia para el aprendizaje, así como para refinar nuestras rutinas diarias según las necesidades exigidas por nuestro medio ambiente.

ANEXO

El reloj biológico funciona como las estructuras cerebrales relacionadas con la memoria

En las estructuras cerebrales relacionadas con la memoria, como el hipocampo, ocurren una serie de fenómenos especiales. Las neuronas de estas estructuras presentan un fenómeno llamado de potenciación a largo plazo: cuando una neurona es estimulada continuamente con elevada frecuencia por un corto intervalo de tiempo, comienza a presentar una respuesta de mayor excitabilidad, y esta respuesta es de larga duración.

Si observamos estas neuronas horas o días después, continuarán presentando esta mayor excitabilidad o potenciación. Muchos investigadores consideran este fenómeno como la base celular de la memoria. Lo interesante es que este proceso relacionado con el aprendizaje ocurre también en las neuronas del núcleo supraquiasmático, nuestro reloj biológico principal. Otra característica en común entre éste último y el hipocampo es la presencia de proteínas relacionadas con la agregación celular (por ejemplo, la llamada molécula de adhesión neuronal, o NCAM), que en el cerebro adulto siempre ha sido relacionada con el aprendizaje. También está presente durante la fase de desarrollo, momento en que la plasticidad del sistema nervioso es altísima. Sorprendentemente, en el núcleo supraquiasmático también existen estas sustancias, y hasta ahora se sabe que tiene un papel importante para el funcionamiento del reloj biológico, pues cuando se inhibe experimentalmente esta molécula, las respuestas rítmicas se alteran.

Podemos entonces decir que las neuronas del reloj biológico son semejantes a las neuronas de las estructuras responsables por la memoria. En otras palabras, el reloj biológico parece tener las características celulares necesarias de una estructura que aprende.

BIBLIOGRAFÍA

- Amir, S. y J. Stewart (1996), "Resetting of the circadian clock by a conditioned stimulus", *Nature*, 379:542-545.
- Born, J., K. Hansen, L. Marshal, M. Molle y H. L. Fehn (1999), "Timing of the end of nocturnal sleep", *Nature* 397:29-30.
- Folkard, S. (1990), "Circadian performance rhythms: some practical and theoretical implications", *Phil. Trans. R. Soc. Lond.B*, 327:543-553.
- Golombek, D. A., H. E. Chuluyun, B. I. Kanterewicz y D. P. Cardinali (1994), "Increased pineal content coupled to restricted water availability in Pavlovian conditioning paradigm in rats", *J. Neural Transm.*, 98:237-246.
- Holloway, F. A. y R. Wansley (1973), "Multiple retention deficits at periodic intervals after active and passive avoidance", *Behavioral Biology*, 9:1-14.
- Johnson, M. P., J. F. Duffy, D. J. Dijk, J. M. Ronda, C. M. Dyal y C. A. Czeisler (1992), "Short-term memory, alertness and performance: a reappraisal of their relationship to body temperature", *Journal of Sleep Research*, 1:24-29.
- Karni, A., D. Tanne, B. S. Rubenstein, J. J. M. Askenasy y D. Sagi (1994), "Dependence on REM sleep of overnight improvement of a perceptual skill", *Science*, 265: 679-682.
- Koulack, D. (1997), "Recognition memory, circadian rhythms, and sleep", *Perceptual and Motor Skills*, 85(1):99-104.
- Valdez P. Ramírez C., García A., Talamantes J. (2008), "Los cambios de afinación a lo largo del día", *Ciencia Academia Mexicana de Ciencias* 59 (1); 14-23.