



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

Variaciones diurnas en el aprendizaje de una habilidad motora

TESIS

Que para obtener el título de Licenciada en Psicología presenta:

Alejandra Irene Galeana García

Directora de tesis:

Dra. Alejandra E. Ruiz Contreras

Revisor de tesis:

Dr. Raúl A. Aguilar Roblero

Sinodales:

Mtra. Azalea Reyes

Dra. Beatriz Gómez

Lic. Olga Rojas



Ciudad Universitaria, Marzo 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicado a todas las personas que siguen sus sueños, que aunque los vientos soplen fuerte, saben que lo que piden en realidad ya está dado, y que solo basta que reconozcan que es suyo, que se lo merecen, es entonces cuando los milagros suceden.....

**Este proyecto de investigación fue apoyado por DGAPA-UNAM
PAPIIT IN217311**

a la Dra. Alejandra Evelyn Ruiz Contreras

Agradecimientos:

Gracias a mi Alma Mater, la UNAM por ser mi segundo hogar, formarme en esta casa de estudios es mi sueño hecho realidad.

A DGAPA-UNAM PAPIIT IN21731 por el apoyo otorgado de una beca tesis.

Dra. Alejandra Ruiz, mi más profundo agradecimiento por confiar en mí para la realización de este proyecto. Gracias por su apoyo incondicional en todos los sentidos. Gracias por su tiempo y dedicación. Gracias por todos los aprendizajes y enseñanzas, ya que mucho de lo que hoy sé, se lo debo a usted.....

Dr. Raúl Aguilar, mi formación como licenciada tiene un poco de usted. Para mí, los ritmos biológicos no hubieran sido tan divertidos sin usted, gracias por sus sabios consejos y atinadas críticas.

Dra. Beatriz Gómez, sin duda alguna este trabajo no hubiera sido tan enriquecedor sin su retroalimentación, con sus recomendaciones veo un antes y un después en este proyecto.

Mtra. Azalea Reyes, gracias por su invaluable apoyo y por sus consejos para la mejora de esta tesis, trabajar con usted fue un gran regalo de la ciencia.

Lic. Olga Rojas, desde que entré en la carrera siempre soñé que algún día usted sería una de mis sinodales y los deseos se cumplen.... Gracias por sus atinados comentarios, gracias por su dedicación y apoyo.

“Por mi raza hablará el espíritu”

Mas agradecimientos.....

Hace poco más de tres años y medio que inicié este gran viaje...titularme y durante este viaje conocí a tantas personas que formaron parte de mi vida y a quienes tengo que agradecerles tanto.... Pero creo que para agradecer todas las bendiciones en mi vida tendría que empezar desde el origen..... Así que iniciaré por agradecer a mi padre celestial por haberme concedido hace veintiséis años la oportunidad de venir a este mundo con este increíble ser llamado Alejandra Irene y por darme como ángel a Zirhel, a quién agradezco su compañía en absolutamente todo momento. Gracias por esta vida llena de increíbles aprendizajes, enseñanzas y experiencias.

Sin embargo, mi llegada a este mundo no habría sido posible sin la ayuda de esa mujer fuerte pero a la vez frágil, de esa mujer decisiva, pero a la vez de caricias dulces, esa mujer tan inteligente pero también tan humana. Su nombre es mi madre, gracias a ella recibí los mejores ejemplos de fuerza y voluntad, dos de las energías más poderosas de este mundo. Gracias madre por permitirme conectar mi ser al tuyo en esta vida y por darme la oportunidad de venir a este mundo a través de ti.

También mi agradecimiento a mi mamá Ale, mi mamá “yeya” y mi abuelo, sin duda tres personas que me colmaron de cuidados y atenciones amorosas, aún recuerdo a mi mamá Ale cantándome por las mañanas para despertarme, a mi mamá “yeya” cargándome por las tardes en sus brazos para dormirme y la paciencia de mi abuelo para ayudarme con mis tareas.

Sé que al leer estas líneas sabrás inmediatamente que son para ti. Gracias por estos años a mi lado, por tu apoyo en todas las formas, gracias por ser mi confidente, mi cómplice, mi alma gemela. Conocerme es la mejor experiencia terrenal que he tenido, porque a través de ti conocí que el amor tiene aroma, que puede tocarse, respirarse, pero sobre todo que puede sentirse. No sé si enamorarme fue algo que eligiera de manera consciente, pero si sé que amarte es una decisión de cada día. Gracias por existir en mi vida y por compartir tus espacios conmigo. También gracias a ti Thriel por permitirme estar en su vida.....

Gracias a mi directora de tesis, mi maestra de la dedicación y perseverancia, mi amiga y porque no decirlo, mi madre académica, Alejandra Ruiz. Es curiosa esta vida, porque cuando juraba que la psicología no era lo mío, tomé una clase tuya de sensopercepción y no solo abandoné esa idea, sino que me di cuenta, que era ciencia lo que quería hacer. Después de unos años, cuando pensé que no había más camino, me das la oportunidad de trabajar en este gran proyecto. Gracias por tu existencia atinada en mi

vida, por tus horas de dedicación, por tu comprensión y por tu gran apoyo, sin duda alguna la culminación de este proyecto es en gran parte gracias a ti. Gracias por traer a este mundo a mi pequeña gran amiga Alexa!

Ahora siguen ustedes mis queridas niñas....

Kikita, tu amistad es algo que atesoro en mi corazón, de ti he aprendido que aunque parezca que el dolor podría tumbarnos, los sueños hacen levantarnos, gracias por tus enseñanzas de fortaleza. Gracias por tu confianza, gracias porque a través de ti conocí a dos hombres que admiro, uno ya partió, tu padre. El otro mí querido Moisés.

Kika, mi maestra de la templanza y paz interior, reconocer tus logros y los caminos que estas eligiendo hoy por hoy, me ha servido tanto para saber que mucho de lo que quiero es posible, y que para seguir mi misión en este mundo, solo basta con que yo la entienda. Gracias por ser tan bella persona.

Jazhel, mi gran gurú!! Podría decir que a ti te debo el despertar de mi ser..... porque mucho de lo que hoy puedo reconocer de mí, de mis grandes avances espirituales se deben a que un día llegaste sin previo aviso me sacudiste con todo el amor genuino del mundo y me devolviste algo que ya había olvidado, yo misma!! Gracias por tu existencia en mi vida, gracias por llenar este mundo con tu sabiduría y tus enseñanzas, Zirhel te agradece tanto....

Ary, Guada, Mimí, Vero e Itzel, mis dulces, alegres y divertidas amigas, conocerlas me ha permitido descubrir que la amistad es más que pasar tiempo juntas o tener intereses en común. La amistad se vive y se comparte en los momentos de alegría pero también en los de tristeza. Se vive en los éxitos pero también en los desaciertos, gracias por escucharme, por apoyarme cuando los vientos fueron fuertes, pero también por hacerme reír siempre.

Quizá piensen que me faltan muchos nombres en este escrito, pero el hecho que no los ponga no quiere decir que no los lleve en mi corazón y en mi mente, gracias a todas y cada una de las personas que han estado en mi vida, amigos, compañeros, familia..... gracias por su apoyo, enseñanzas y experiencias a mi lado, sin duda alguna Alejandra no sería quién es hoy sino fuera por todos ustedes.

Tabla de contenido

1 ANTECEDENTES	- 3 -
1.1 <i>Aprendizaje y Memoria</i>	- 3 -
1.1.1 <i>Tipos de Aprendizaje</i>	- 4 -
1.2 <i>Aprendizaje motor</i>	- 6 -
1.2.1 <i>Estructuras cerebrales involucradas en el aprendizaje motor</i>	- 15 -
1.3 <i>Ritmos Circadianos</i>	- 22 -
1.3.1 <i>Estructuras cerebrales involucradas en los ritmos circadianos</i>	- 24 -
1.3.2 <i>Variaciones Circadianas</i>	- 26 -
1.4 <i>Cambios en la eficiencia Cognitiva asociadas a variaciones circadianas</i>	- 28 -
2 Planteamiento del problema	- 33 -
3 Objetivo	- 34 -
4 Método	- 34 -
4.1 <i>Participantes</i>	- 34 -
4.2 <i>Instrumentos</i>	- 35 -
4.3 <i>Materiales y aparatos</i>	- 40 -
4.4 <i>Estímulo</i>	- 41 -
4.5 <i>Procedimiento</i>	- 42 -
4.6 <i>Análisis de datos</i>	- 44 -
5 Resultados	- 45 -
6 Discusión	- 51 -
7 Conclusiones	- 56 -
8 Referencias	- 57 -

Resumen

En las actividades realizadas cotidianamente se utiliza una variedad de habilidades motoras que son aprendidas a través de la repetición constante. Estas habilidades se perfeccionan con la práctica y su adquisición se determina por la reducción en el tiempo de ejecución y número de errores cometidos. La adquisición de una habilidad motora sigue dos fases principales: aprendizaje motor rápido y aprendizaje motor lento. Existe evidencia que las variaciones circadianas afectan el rendimiento de tareas cognitivas y motoras finas. El objetivo de la presente investigación fue determinar si el aprendizaje de una habilidad motora compleja difiere si se adquiere en la mañana (8 hrs) que en la noche (20 hrs). La tarea consistió en trazar una línea en medio de dos contornos de una estrella de cinco picos mirando a través de un espejo. Se probaron dos horarios en grupos independientes de jóvenes voluntarios: a las 8:00 y 20:00 hrs. Los resultados indican que el aprendizaje de una habilidad motora compleja es diferente en la fase de aprendizaje rápido cuando se aprende por la mañana (8:00 hrs) que por la noche (20:00hrs). Esto sugiere que las variaciones diurnas del organismo expresadas en correlatos como BDNF, cortisol o expresión de receptores en el cerebro pueden influir de manera directa en el aprendizaje y desempeño de este tipo de tareas. Siendo la fase de aprendizaje rápido más sensible a las variaciones diurnas.

1 ANTECEDENTES

1.1 *Aprendizaje y Memoria*

El aprendizaje y la memoria son procesos que permiten a los organismos modificar su conducta para adaptarse a las condiciones cambiantes del medio que los rodea, constituyendo así evolutivamente el modo principal de adaptación de los seres vivos (Morgado-Bernal, 2005).

Dentro de la literatura, son múltiples y variadas las definiciones de aprendizaje y memoria. Por ejemplo, Hilgard y Bower (1975) definen al aprendizaje como el proceso mediante el cual se presentan cambios en la conducta, como resultado de la experiencia o la práctica y que no son debidos a enfermedad, maduración, fatiga o drogas. Así mismo, estos autores definen la memoria como el proceso o facultad por la que es retenida y/o almacenada la experiencia adquirida (Hilgard y Bower, 1975).

Algunos otros autores se limitan definiendo al aprendizaje como el proceso por medio del que adquirimos información sobre el mundo, mientras que la memoria es el proceso por el que la información se almacena y después se recupera (Kandel, Schwartz y Jessell, 1997).

Aguado-Aguilar (2001) define al aprendizaje como una serie de modificaciones en las respuestas conductuales que se producen a través de la experiencia.

Estéves-González y cols. (1997) definen a la memoria como un proceso neurocognitivo que permite el registro, codificación, consolidación, almacenamiento, acceso y recuperación de la información.

Finalmente, Carlson (2010) sugiere que el aprendizaje es un proceso mediante el cual las experiencias modifican al sistema nervioso y, por lo tanto, a la conducta. A estos cambios Carlson (2010) los denomina recuerdos. Sin embargo, aclara que las experiencias no se "almacenan como notas en archivos", sino que el cerebro refleja

estas experiencias modificando la forma de percibir, realizar, pensar y planear, entre otras funciones, alterando los circuitos neuronales que participan en estos procesos.

Todas estas definiciones describen dos procesos estrechamente ligados, no se puede hablar de aprendizaje sin memoria ni referirse a memoria sin aprendizaje; es como si ambos procesos fueran dos caras de una misma moneda.

Para su estudio se han creado constructos que dividen a estos dos procesos y que incluso, se subdividen para su mejor comprensión como sigue a continuación.

1.1.1 Tipos de Aprendizaje

Algunos autores realizan distinciones pragmáticas basadas en los contenidos que originan el aprendizaje y los mecanismos involucrados (Aguado-Aguilar, 2001). Carlson (2010) propuso cuatro formas de aprendizaje como:

- Aprendizaje perceptual: se compone básicamente de cambios en los sistemas perceptivos. Este tipo de aprendizaje parece lograrse en primera instancia debido a cambios en las cortezas de asociación y establece cambios dentro de los sistemas sensoriales (Carlson, 2010). En cada uno de los sistemas sensoriales puede darse aprendizaje perceptivo, porque se aprende a reconocer los objetos por sus características físicas. Por ejemplo, distinguir entre diferentes texturas, olores o formas.
- Aprendizaje asociativo: involucra el establecimiento de conexiones entre los circuitos neuronales que participan en la percepción y en el movimiento. Este tipo de aprendizaje incluye dos categorías principales:
 - Condicionamiento clásico: es un tipo de aprendizaje en el que un estímulo neutro (que por sí mismo no provoca una respuesta del

sistema autónomo) se asocia con la respuesta provocada por un estímulo incondicionado (un estímulo que cuya presencia provoca una respuesta del sistema autónomo), de tal forma que la sola presencia del estímulo neutro (ahora condicionado) provocará la respuesta ahora condicionada.

- Condicionamiento operante o instrumental: es un aprendizaje de la relación respuesta-estímulo debido a que si una determinada respuesta conductual es seguida de un estímulo reforzador aumenta la probabilidad de que se vuelva a repetir esta conducta; pero si el estímulo que le sigue resulta aversivo (castigo) disminuye la probabilidad de que se presente la conducta. Ambos casos, reforzador o castigo, pueden ser positivos o negativos; positivos cuando se entregan, negativos cuando se quitan.
- Aprendizaje de relaciones: implica la capacidad de reconocer objetos empleando más de una modalidad sensorial, reconocer la localización relativa de los objetos en el entorno y recordar la secuencia en que tales eventos ocurrieron durante episodios particulares. Algunos ejemplos de este tipo de aprendizaje son aprender las ubicaciones espaciales de los objetos y su relación dentro de una habitación (aprendizaje espacial) o recordar secuencias de acontecimientos (aprendizaje episódico).
- Aprendizaje motor: establece cambios dentro de los circuitos neuronales que controlan el movimiento y es guiado por estímulos sensoriales, formando conexiones entre el sistema motor y los sensoriales. Este tipo de aprendizaje motor es una combinación entre el aprendizaje perceptual y el aprendizaje asociativo que permiten a su vez aprender habilidades y hábitos. Por ejemplo, la

mayoría de los movimientos de precisión implican la interacción con objetos o personas, como manejar una bicicleta o bailar u operar algún instrumento. Existe una retroalimentación compleja que involucra señales provenientes de, por ejemplo, las articulaciones, los músculos, el sistema vestibular, la visión, la fricción con el piso o con objetos.

A manera de conclusión, esta clasificación es en aras de su estudio y comprensión, sin embargo, es difícil observar independientemente cada uno de estos tipos de aprendizaje en la vida cotidiana. Es decir, algunos o todos pueden intervenir en una misma situación. Por ejemplo, aprender a manejar un automóvil involucra la integración del aprendizaje perceptual y asociativo, ya que la combinación de estos da lugar al aprendizaje motor. En un inicio es necesaria la información explícita del aprendizaje de relaciones para poder entender la relación física entre el funcionamiento del acelerador, los frenos y la posición de las diferentes partes del cuerpo. Además, es posible obtener un reforzador positivo si el auto no se apaga, involucrando al aprendizaje asociativo. Después de la repetición de varios ensayos, esta información explícita se automatiza y se expresa la conducta de manera automática.

Para fines de la presente investigación nos centraremos en un aprendizaje motor, particularmente, la adquisición de una habilidad motora compleja.

1.2 Aprendizaje motor

La función primordial del aprendizaje y la memoria es desarrollar conductas que permitan a los organismos adaptarse al medio que habitan. Los organismos han aprendido a desarrollar las estrategias para conseguir alimento, resguardarse de los

cambios climáticos o evitar objetos y situaciones que podrían dañarlos (Carlson, 2010). En todos estos casos, carecer de habilidades motoras, por ejemplo, para llevar a cabo procedimientos como cocinar o vestirse, podría poner en riesgo la sobrevivencia de la especie. De esta forma, en la mayoría de las actividades realizadas cotidianamente se utilizan una amplia variedad de habilidades motoras que fueron adquiridas gradualmente a través de la práctica y de las interacciones con el medio ambiente (Doyon, Penhune y Ungerleider, 2003) y que se fueron perfeccionando. Las tareas que implican adquisición de habilidades motoras son generalmente aprendidas a través de muchas repeticiones, por lo que los movimientos a lo largo del entrenamiento se realizan cada vez con menor esfuerzo, observando así una mejora en la ejecución del entrenamiento inicial en comparación con las sesiones subsecuentes (Karni, 1996). Operacionalmente, el aprendizaje de habilidades motoras se define como el proceso mediante el cual los movimientos adquiridos a través de la práctica repetida son realizados sin esfuerzo (Willingham, 1998), con mayor exactitud y con una mejora en el rendimiento comparado con el primer ensayo (Georgopoulos, Kalaska y Massey, cols.1981).

El aprendizaje de este tipo de habilidades se evalúa por la reducción en el tiempo de ejecución y en el número de errores (Doyon y cols. 1998). Las habilidades motoras pueden ser aprendidas a un punto tal que podrían llegar a realizarse de forma implícita (es decir, de forma no consciente). Además, la eficiencia para realizar una habilidad motora no se pierde por la ausencia de práctica durante largos periodos de tiempo (Doyon y cols. 2003).

La adquisición de habilidades motoras sigue principalmente dos etapas (Karni y cols. 1998):

- I. Aprendizaje rápido: es una etapa de aprendizaje donde los cambios en la ejecución se pueden observar en los minutos iniciales de la primera sesión de entrenamiento (Karni, 1996; Doyon y cols. 2003).
- II. Aprendizaje lento: es una fase de aprendizaje que ocurre durante subsecuentes sesiones de entrenamiento, en la que se observa que la curva de aprendizaje alcanza una asíntota, sugiriendo una automatización de la tarea (Karni, 1996).

La evidencia que apoya la descripción de estas fases de aprendizaje motor ha sido obtenida de estudios experimentales y clínicos (Georgopoulos y cols. 1981; Karni, 1996; Karni y cols. 1995; Karni y cols. 1998), tanto en animales como en humanos. Por ejemplo, Georgopoulos y cols. (1981) realizaron un estudio con tres monos *rhesus* a los cuales evaluaron la adquisición de una habilidad motora. Se entrenó individualmente a los monos para que aprendieran a ejecutar trazos uniformes en un tablero que tenía un punto central con ocho puntos luminosos distribuidos equidistantemente, formando un círculo sobre la superficie del tablero (ver Figura 1). Los sujetos debían trazar, mediante un lápiz electrónico conectado a una palanca, el movimiento del punto central a cada uno de los puntos de manera secuencial y regresando cada vez al punto central (ver Figura 1). Los sujetos realizaron 35 ensayos en total, uno por día; se evaluó la precisión del trazo y el tiempo de ejecución. Georgopoulos y cols. (1981) encontraron que la adquisición de la habilidad motora fue marcada por una reducción significativa en la variabilidad del trazo de la trayectoria de los movimientos, de tal forma que a mayor número de ensayos mayor fue la exactitud en los trazos. La Figura 2 muestra que la variabilidad del trazo del día 16 fue significativamente mayor que la del día 24. Así mismo, la variabilidad de la ejecución del día 24 fue significativamente mayor comparada con el último día (día 35). En la

Figura 1, se muestra la ejecución de un sujeto utilizando el aparato mencionado y los resultados del entrenamiento se muestran en las Figura 2 y 3. Con respecto al tiempo de ejecución y velocidad para ejecutar la tarea, no se encontraron diferencias significativas. Por su parte, Karni y cols. (1995; Karni y cols. 1998) evaluaron en humanos la adquisición de una tarea de habilidad motora fina simple. La tarea consistió en entrenar de 10 a 20 minutos al día durante cinco semanas consecutivas, dos secuencias de cinco movimientos con los cuatro dedos de la mano no dominante (excepto el pulgar), sin retroalimentación visual. Se evaluó la precisión en los movimientos (número de errores) y la velocidad en la ejecución (número de secuencias completas realizadas en 30 segundos). Entre los resultados obtenidos está una diferenciación entre la fase de aprendizaje rápido y lento, debido a que se observó en la ejecución de la tarea una reducción significativa del número de errores y un aumento significativo en la velocidad, de la primera a la quinta semana de entrenamiento. Además, no se encontraron cambios significativos en el número de errores y velocidad a partir de la tercera semana de entrenamiento, ya que, la curva de aprendizaje llegó a su asíntota. Estos resultados muestran que el aprendizaje de una habilidad motora es un proceso que se adquiere paulatinamente a través de la repetición, en consecuencia se automatiza conforme pasan las sesiones de entrenamiento. El perfeccionamiento en la ejecución de la tarea es reflejada en la curva de aprendizaje, donde se observan etapas que son definidas por cambios significativos de los primeros ensayos (aprendizaje rápido) a los subsecuentes, para al final de la curva alcanzar una asíntota (aprendizaje lento), señal que indica que la tarea ya se automatizó. Por otro lado, los resultados del tiempo de ejecución y velocidad indican que la exactitud de la tarea no depende necesariamente del tiempo de ejecución, es decir, perfeccionamiento no es lo mismo que rapidez.

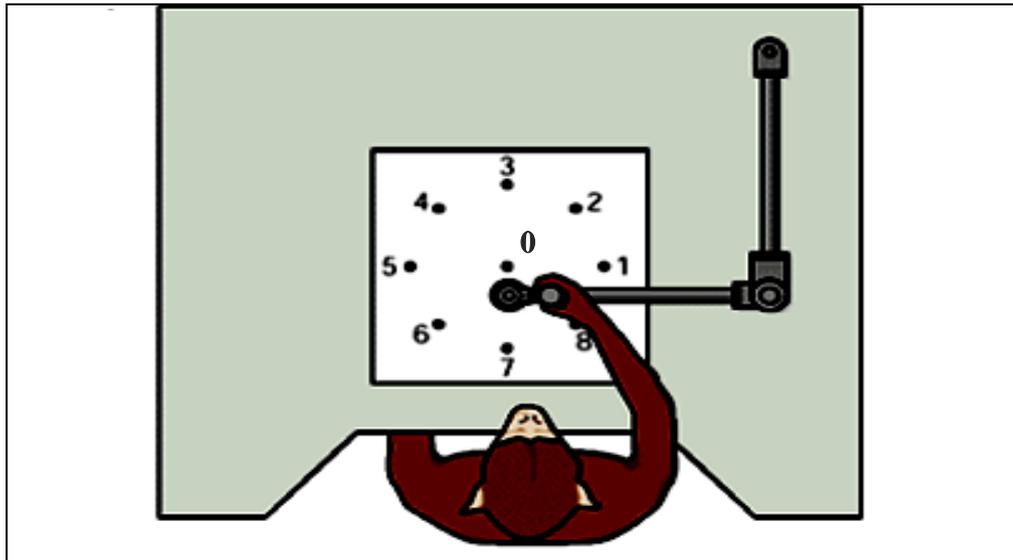


Figura 1. Representación de la tarea de Georgopoulos et al. (1981; tomada y modificada de Ghez and Krakauer, 2000). Se muestra al mono frente al aparato para adquirir la tarea motora, la cual consistió en realizar sobre el tablero trazos exactos y rápidos con el lápiz electrónico, empezando del centro (punto cero) al punto uno, después regresaba al punto cero y partía al punto dos y así sucesivamente.

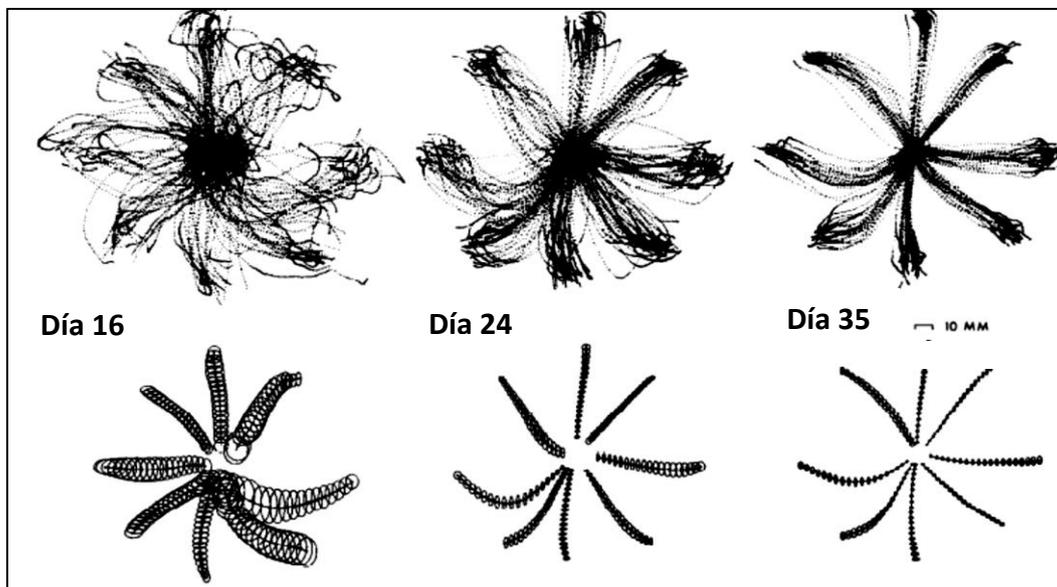


Figura 2. Resultados de la ejecución de la tarea motora (tomada y modificada de Georgopoulos y cols. 1981). En la parte superior de la figura se encuentran tres diagramas de la ejecución de la tarea que se registraron en tres momentos diferentes del entrenamiento. A mayor número de sesiones de entrenamiento mayor precisión en los movimientos (menor dispersión de los trazos). En la parte inferior se muestran los datos analizados de los diagramas anteriores, las líneas rectas representan la media de la trayectoria, mientras que las espirales representan variabilidad en los trazos.

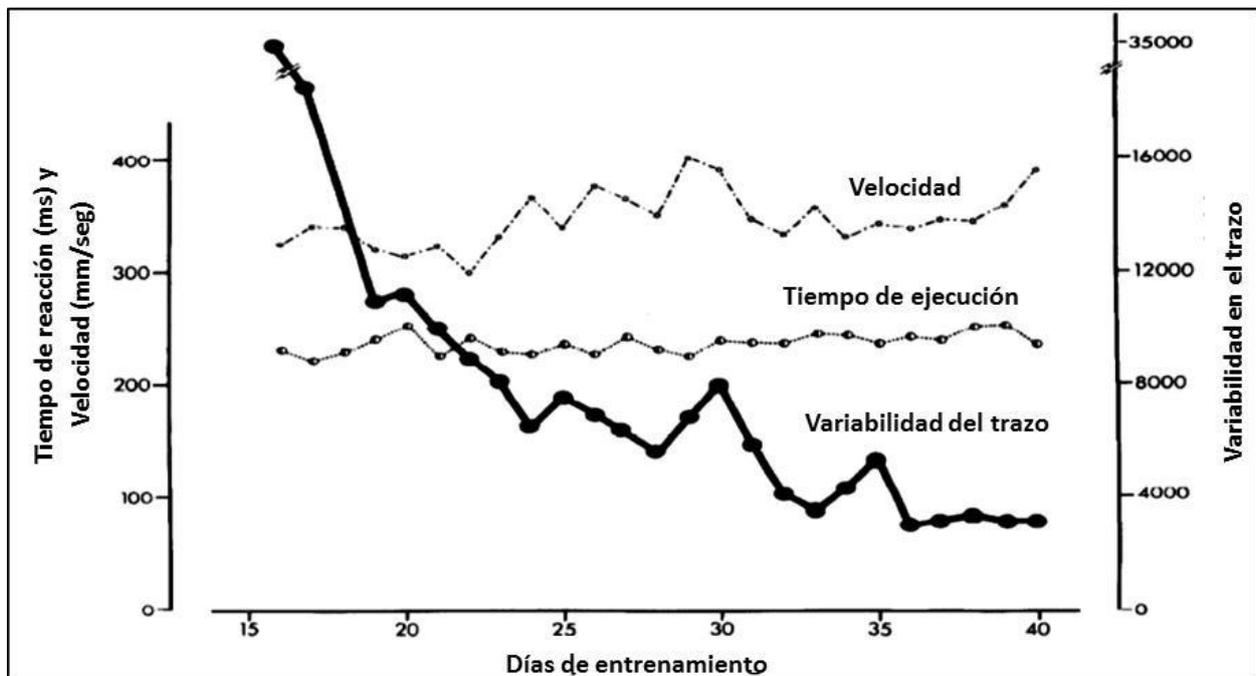


Figura 3. Cambios en la variabilidad de los movimientos durante la ejecución de la tarea (tomada y modificada de Georgopoulos y cols. 1981). Observamos como la variabilidad de los movimientos de los sujetos va decreciendo (teniendo mayor exactitud) en función de los días de entrenamiento. Sin embargo, el tiempo de ejecución y la velocidad para ejecutar la tarea no tienen cambios significativos a lo largo del entrenamiento.

Sobre la evidencia clínica de las fases del aprendizaje de habilidades motoras está el caso que contribuyó al conocimiento del aprendizaje y la memoria, el paciente H. M., Henry Molaison (Scoville y Milner, 1957). Este paciente sufría crisis epilépticas muy severas y frecuentes producto de un traumatismo craneoencefálico. En 1953 se le realizó una cirugía removiéndole bilateralmente una porción del lóbulo temporal medial (ver Figura 4), con el objetivo de eliminar las crisis epilépticas (Scoville y Milner, 1957; Milner, Squire y Kandel, 1998). El tejido cerebral removido incluyó gran parte de la formación hipocámpica que contenía: parte del giro dentado, el hipocampo, el complejo subicular, la corteza entorrinal y parte del complejo amigdalino (Corkin y cols. 1997), estructuras que se demostró están ligadas con la memoria. La intervención quirúrgica cumplió con su objetivo, eliminar las crisis epilépticas. La evaluación neuropsicológica posterior a la cirugía que se le hizo a H.M. mostró que tanto su inteligencia como su atención permanecieron normales (Scoville y Milner, 1957), podía

retener la información por algunos minutos mientras no se le distrajera. Pero una consecuencia notable fue su incapacidad de formar nuevos recuerdos (ahora sabemos que era sólo la información episódica, ver más adelante) a largo plazo y, por lo tanto, le imposibilitaba a H. M. nuevos aprendizajes (Kandel, Schwartz y Jessell, 1997). En 1962, Brenda Milner demostró que H. M. logró aprender a ejecutar una tarea que involucraba la adquisición de una habilidad motora (Milner y cols. 1998). La tarea consistió en dibujar una línea en medio de dos contornos de una estrella de cinco picos, viendo la figura y el trazo de su mano sólo a través de un espejo (Milner y cols. 1998). Se contabilizó como error cada vez que H. M. tocaba alguno de los contornos. H. M. disminuyó sus errores conforme los ensayos aumentaron (30 ensayos en total, 10 ensayos por día), exhibiendo una curva de aprendizaje, a mayor número de ensayos menor número de errores. En la Figura 5 se muestra cómo el desempeño de H. M. en la tarea de aprendizaje motor fue mejorando entre las sesiones de entrenamiento, teniendo una mejora importante en el rendimiento de los dos primeros días (fase rápida de aprendizaje motor) y mostrando un aprendizaje más lento en el último día (fase lenta de aprendizaje motor).

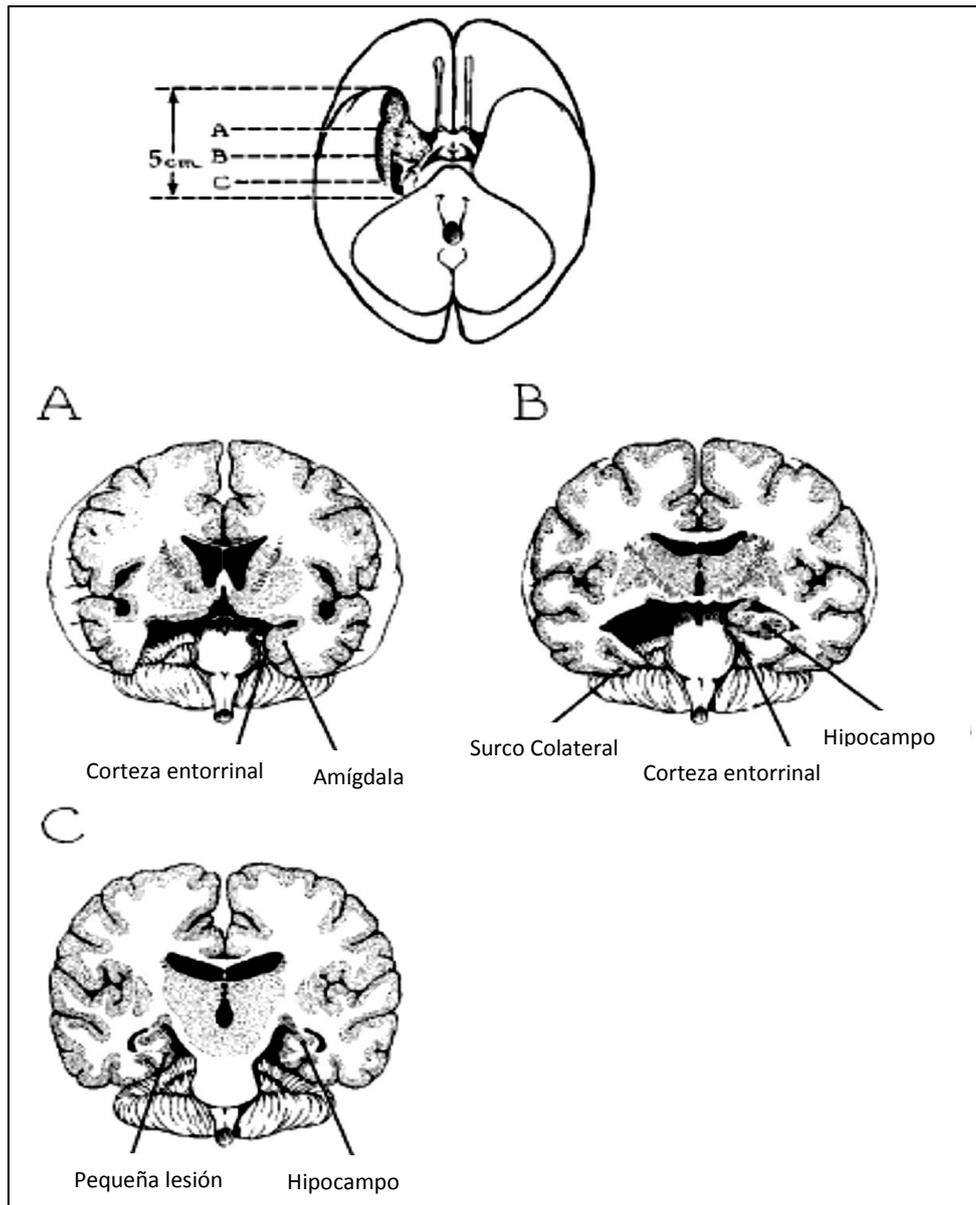


Figura 4. Diagrama de la cirugía realizada al paciente H.M (tomada y modificada de Corkin y cols. 1997). Se muestra en cuatro cortes coronales las principales áreas cerebrales removidas en la cirugía realizada a H.M.

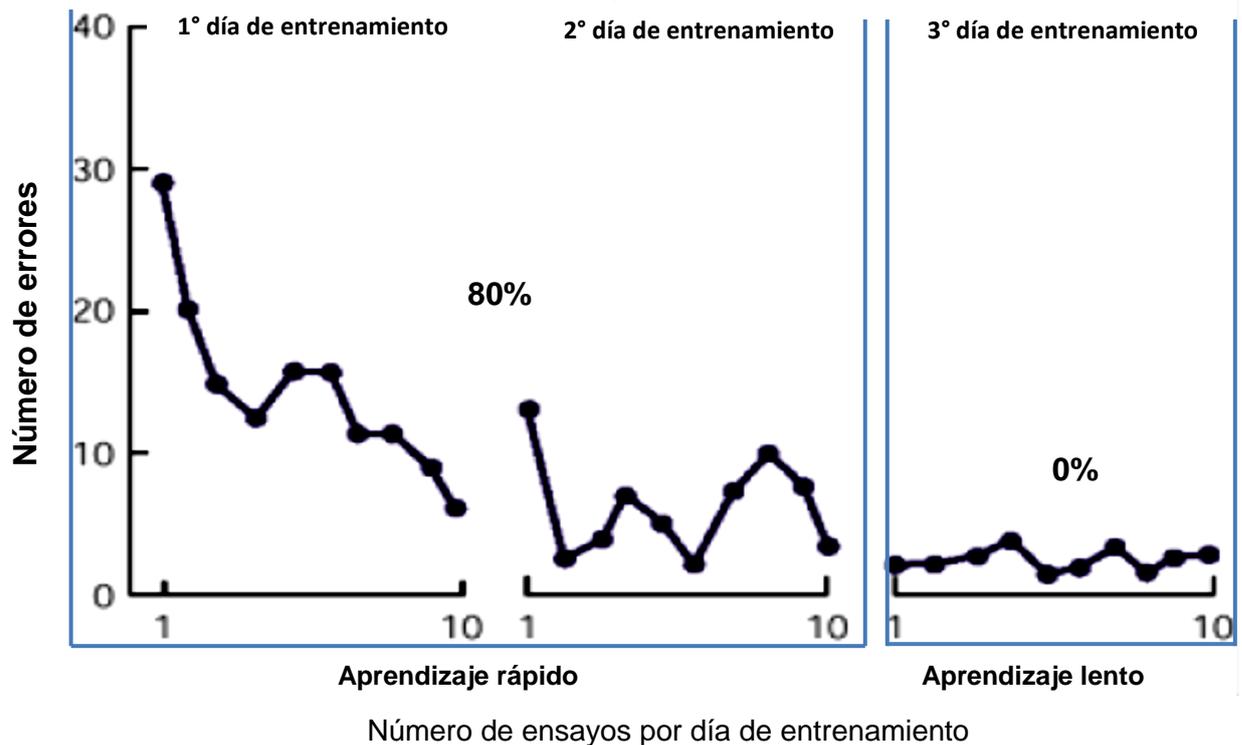


Figura 5. Rendimiento de H.M. en la tarea de aprendizaje motor (tomada y modificada de Kandel, Kupfermann e Iversen, 2000). Se realizaron 30 ensayos en total. Se observa una curva de aprendizaje donde a mayor número de ensayos menor número de errores. La fase de aprendizaje rápido tuvo lugar durante el primer y segundo día de entrenamiento, porque la disminución de errores fue hasta un 80%. Mientras que en el último día de entrenamiento (fase de aprendizaje lento), no se observa ningún cambio con respecto al número de errores.

Con estos resultados, Brenda Milner (Squire y Zola-Morgan, 1996; Milner y cols. 1998; Squire, 2009) demostró, primero, que el aprendizaje y la memoria pueden expresarse de forma implícita, es decir de forma no consciente, ya que H. M. mejoró de forma gradual su ejecución en la tarea durante los tres días del entrenamiento, disminuyendo su número de errores. Segundo, que H. M. retenía la habilidad motora aprendida durante los días de entrenamiento, aunque él no recordara de forma consciente haberla realizado alguna vez. Por lo tanto, la adquisición de una habilidad motora se considera un tipo de aprendizaje implícito que necesita de varias repeticiones para aprenderse; y una vez que se ha aprendido toda una secuencia de

movimientos (por ejemplo, el dibujo de la estrella mirando al espejo o aprender a manejar), se realiza la tarea en forma automática, con menor esfuerzo, mayor exactitud y sin necesidad de ejecutarla de manera consciente.

Y tercero, proporcionó evidencia a favor que tanto el aprendizaje como la memoria no dependen de una sola estructura cerebral (por ejemplo, de la formación hipocampal), sino que más estructuras están involucradas en estos procesos, que funcionan como unidades separadas y que dependen de diferentes sistemas cerebrales que se encuentran interconectadas entre sí (Squire, Stark y Clark, 2004).

Por lo tanto, no podemos esperar que haya una sola estructura dentro del sistema nervioso de quien dependa exclusivamente el proceso de aprendizaje motor. Pero sí se tiene evidencia sobre estructuras que conforman sistemas de memoria. Por ejemplo, en el aprendizaje motor están los núcleos de la base y el cerebelo, que forman parte del sistema motor extrapiramidal y que se sabe que al ser lesionados se afecta, más no se impide, el aprendizaje motor (Laforce y Doyon, 2001). A continuación, describiré la neurobiología del aprendizaje de habilidades motoras complejas.

1.2.1 Estructuras cerebrales involucradas en el aprendizaje motor

Los ganglios basales o núcleos de la base desempeñan una función fundamental en las respuestas motoras voluntarias. Estos núcleos se conforman por el núcleo caudado, el putamen, el globo pálido interno y externo, el núcleo subtalámico y la sustancia negra. El núcleo caudado se conecta al putamen; en conjunto se les conoce como cuerpo estriado, por su apariencia rayada o estriada (Pinel, 2001). El estriado representa la mayor entrada de información a los núcleos de la base (ver

revisión de Rueda-Orozco y cols. 2006) y recibe proyecciones de la corteza cerebral, del tálamo y del tallo cerebral. Las neuronas estriatales son predominantemente neuronas espinosas medianas que liberan GABA y proyectan al globo pálido y a la sustancia negra. Estos últimos dos núcleos son la principal salida de los núcleos de la base.

El globo pálido externo tiene proyecciones GABAérgicas sobre el núcleo subtálmico y el globo pálido interno. El globo pálido interno tiene proyecciones GABAérgicas sobre el tálamo y el tallo cerebral. El núcleo subtálmico proyecta de manera glutamatérgica sobre el globo pálido interno.

El estriado tiene dos proyecciones de salida: la vía directa y la vía indirecta (Figura 6); la vía directa facilita la expresión del movimiento, mientras que la indirecta la inhibe (Seger, 2006). En la vía directa, el estriado recibe proyecciones excitadoras que estimulan a receptores a dopamina tipo D1 (Seger, 2006). Estas proyecciones provienen de la sustancia negra y de la corteza; las neuronas estriatales de la vía directa proyectan directamente a las neuronas del globo pálido interno inhibiendo su actividad. En consecuencia, se pierde la inhibición sobre las neuronas talámicas produciendo su excitación hacia la corteza cerebral, generando movimiento.

En la vía indirecta, las neuronas que proyectan al estriado, que también provienen de la sustancia negra y de la corteza, estimulan a los receptores a dopamina D₂ (Seger, 2006). La estimulación de las neuronas estriatales de la vía indirecta inhibe a las neuronas del globo pálido externo. Por lo tanto, se desinhibe el globo pálido interno y el núcleo subtálmico, de tal manera que el núcleo subtálmico excita a las neuronas GABAérgicas del globo pálido interno y en consecuencia inhibe a las neuronas talámicas, impidiendo así el movimiento (DeLong, 2000).

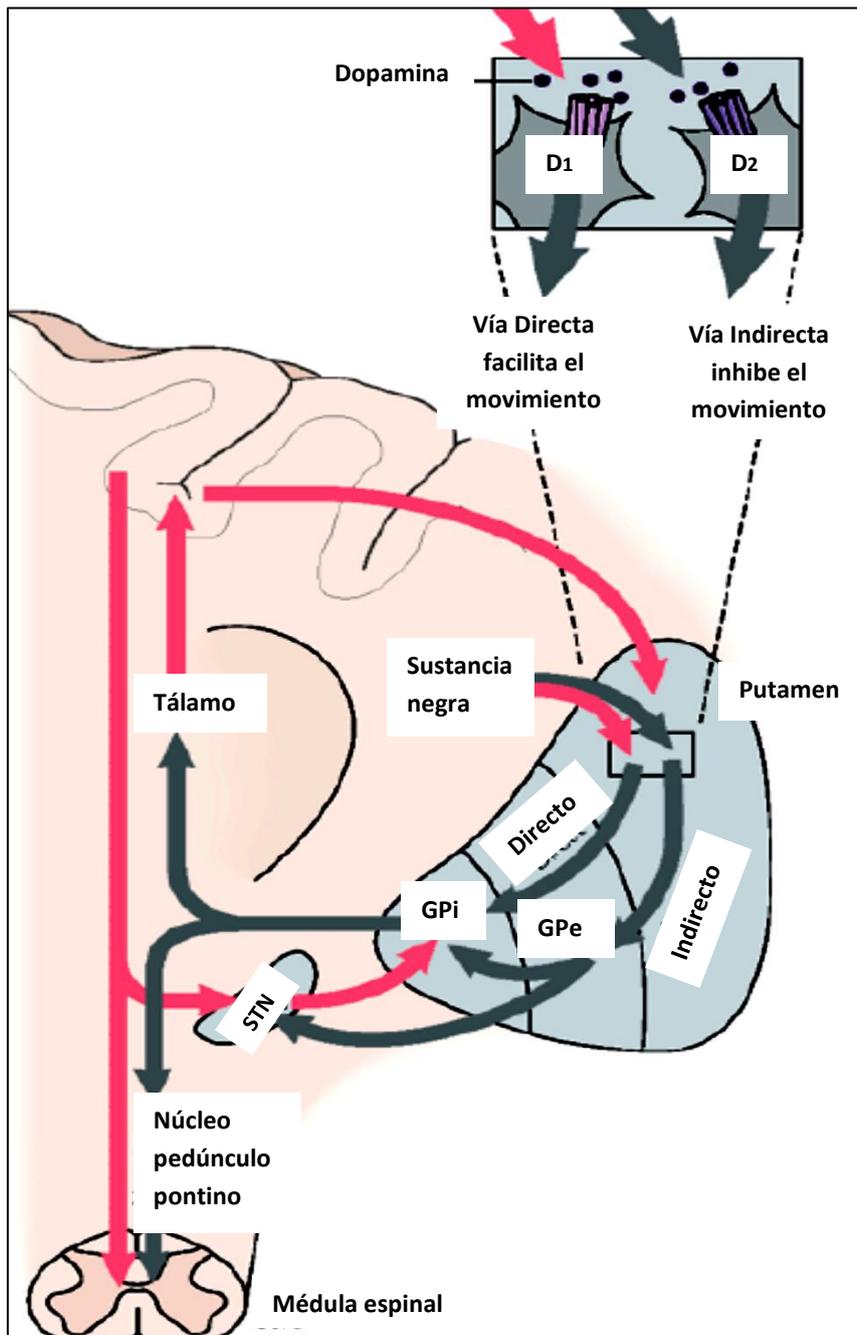


Figura 6. Conexiones anatómicas del circuito ganglios basales-tálamo-corteza (tomado y modificado de DeLong, 2000). El receptor a dopamina tipo D₁ activa el movimiento en la vía directa y el tipo D₂ lo inhibe en la vía indirecta. Las proyecciones inhibitoras se muestran en color gris, mientras que las proyecciones excitadoras en color rojo. GPe= Globo Pálido externo; GPi= Globo Pálido interno; STN= Núcleo subtalámico.

Las teorías sobre la función de los núcleos de la base han cambiado, ya que antes se pensaba que sólo participaban en la modulación motora. Ahora se piensa que

también están implicados en otro tipo de funciones cognitivas, como la atención (Ravizza e Ivry, 2001), esto porque los núcleos de la base proyectan a áreas corticales como a la región prefrontal (Perkel y Farries, 2000). De hecho existe evidencia que en tareas de atención ejecutiva (por ejemplo la tarea de stroop) la activación de los ganglios basales es mayor en la mañana (6:00 horas) que por la tarde-noche (18:00 y 22:00 horas; Tadeusz-Marek y cols. 2010). Sin embargo, no existe evidencia que las variaciones en la activación de los ganglios basales a lo largo del día afecten la ejecución de una tarea de atención.

El estriado está importantemente relacionado con el aprendizaje y almacenamiento de información de tipo respuesta-estímulo (Rueda Orozco y cols. 2008a) y la característica principal de este tipo de aprendizaje es que progresa gradualmente ensayo tras ensayo (McDonald y White, 1993), reduciendo su activación (Rueda Orozco y cols. 2008a). Sin embargo, en este trabajo sólo nos centraremos a describir teóricamente la participación de los núcleos de la base en el proceso de aprendizaje de habilidades motoras.

Al estriado también se le ha relacionado con el procesamiento de información de secuencias de movimientos (Rueda-Orozco y cols. 2006), así como también con la adquisición de hábitos, habilidades y procedimientos (Packard, Hirsh y White, 1989). Por ejemplo, Rueda-Orozco y cols. (2008b) diseñaron un experimento con ratas a las cuales entrenaron en un laberinto en T, durante cinco sesiones de 10 ensayos cada una. La tarea consistió en que la rata aprendiera a localizar un reforzador en uno de los dos brazos. Posterior a esto, durante 20 ensayos (10 por sesión), se extinguió esta respuesta reforzando el brazo contrario al que se entrenó en un principio. Se analizó la expresión inmunoreactiva de c-fos en el estriado y el hipocampo durante los días de entrenamiento, así como durante la fase de extinción. Rueda-Orozco y cols. (2008b)

encontraron que en la fase de adquisición de la tarea, específicamente en el primer ensayo de aprendizaje y en el primer ensayo de extinción, hubo mayor expresión de c-fos en el estriado, mientras que en el hipocampo se mostró un aumento en la expresión de c-fos en función de las sesiones de entrenamiento; es decir, a mayor número de ensayos, mayor expresión de c-fos en el hipocampo (Rueda-Orozco y cols. 2008b). Estos hallazgos sugieren que el estriado tiene una importante participación en el aprendizaje de tareas implícitas, sobresaliendo principalmente durante la fase de adquisición, la cual, como hemos visto hasta ahora, se da en los primeros ensayos; pero cuando la tarea se automatiza, es posible que otras estructuras cerebrales releven al estriado.

Por tanto, al igual que el estriado, distintas estructuras cerebrales como la corteza motora y el cerebelo podrían ser críticas en la adquisición y almacenamiento de habilidades motoras (Georgopoulos, 2000). Estudios anatómicos han demostrado que estas estructuras forman dos circuitos diferentes: el sistema corteza-núcleos de la base-tálamo-corteza y el sistema corteza-cerebelo-tálamo-corteza (Middleton y Strick, 1997; Picard y Strick, 1996). La evidencia que apoya el papel de estos sistemas en el aprendizaje de habilidades motoras se deriva de estudios con ratas (Packard and cols. 1989) y con pacientes que tienen daño en el estriado (pacientes con Parkinson y Huntington) y en el cerebelo (Ungerleider, Doyon y Karni, 2002; Doyon and cols. 1998). Por ejemplo, se comparó la ejecución en una tarea visomotora a dos grupos de pacientes con lesión, uno en el estriado y otro en el cerebelo, con un grupo de personas neurológicamente sanas (Laforce y Doyon, 2001). La tarea consistió en entrenar a todos los participantes para que trazaran el contorno de figuras simples (con segmentos de curvas y líneas separadas) y figuras complejas (con segmentos de curvas y líneas sobrepuestas) mirando a través de un espejo. Se realizó una sola

sesión de entrenamiento con 48 ensayos distribuidos en cuatro fases y se contabilizó el tiempo de ejecución. Los resultados de este estudio indican que tanto el grupo de pacientes con lesión en el estriado así como los que tuvieron lesión en el cerebelo tuvieron significativamente mayor tiempo de ejecución que el grupo control. Particularmente, el grupo con lesión en el cerebelo tuvo mayor tiempo de ejecución que los sujetos con lesión en el estriado cuando dibujaron las figuras complejas, pero no hubo diferencias significativas entre ambos grupos cuando dibujaron las líneas simples. Según los autores, estos datos sugieren que tanto el estriado como el cerebelo participan en la adquisición de habilidades motoras; y que el cerebelo podría ser el encargado de la combinación de movimientos motores complejos para la ejecución de este tipo de tareas visomotoras (Laforce y Doyon, 2001).

En otros estudios realizados con humanos neurológicamente sanos, también se ha visto la participación de los núcleos de la base, el cerebelo y la corteza motora en tareas de adquisición de habilidades motoras complejas. Por ejemplo, Jueptner y Weiller (1998) registraron la actividad metabólica cerebral por Tomografía por Emisión de Positrones (TEP) a participantes mientras dibujaban una secuencia de líneas nuevas, con la consigna de que fueran sin forma, tamaño, posición o dirección definidas, sino de manera libre a través de un mouse en la pantalla de una computadora. Los investigadores encontraron que al dibujar estas líneas nuevas, se activaba el putamen, el cerebelo y la corteza motora. Pero cuando se les pedía a los participantes que redibujaran los trazos realizados previamente, es decir, dibujar una línea con la misma forma, tamaño, posición y misma dirección que la primera vez, entonces se activaba solamente el cerebelo y la corteza motora (Jueptner y Weiller, 1998). Este hallazgo sugiere que mientras los núcleos de la base están involucrados en la selección y definición de los movimientos que se realizaran en determinada tarea

motora, el cerebelo y la corteza motora desempeñan un papel protagónico en la automatización de los movimientos seleccionados.

En otro estudio realizado con hombres y mujeres neurológicamente sanos y de edades diferentes, se les tomó una Imagen de Resonancia Magnética Funcional (IRMf) mientras realizaban la tarea de trazo de la estrella mirando sólo a través del espejo. Realizaron 25 ensayos distribuidos en tres días (el primer día realizaron cinco, el segundo 10 y el tercero 10 ensayos). Solamente el núcleo caudado y la corteza prefrontal se activaron durante los tres días de entrenamiento (Kennedy y Raz, 2005). Además, la activación en los hombres del núcleo caudado y la corteza prefrontal estaba positivamente correlacionada con la ejecución de la tarea conforme transcurrieron los días de entrenamiento, es decir, a mayor número de sesiones de entrenamiento, mayor activación en estas estructuras cerebrales. Mientras que en las mujeres se observó una mayor activación del núcleo caudado sólo en la primera sesión de entrenamiento que en las subsecuentes. Estos resultados se contraponen con los estudios anteriores, ya que no se ve involucrado el cerebelo en el aprendizaje motor. También nuevamente se corroboró que los núcleos de la base participan en la adquisición de habilidades motoras complejas y que, probablemente, pueden tener una función importante en la fase rápida del aprendizaje motor, aunque debido a los resultados, esto podría atribuírsele a otros elementos como las diferencias sexuales. Por otro lado, los resultados conductuales muestran que todos los participantes del estudio independientemente de su edad y sexo aprendieron la tarea motora, porque a lo largo de los tres días de entrenamiento disminuyeron considerablemente su número de errores y tiempo de ejecución (Kennedy y Raz, 2005). De hecho en el tercer día de entrenamiento, la curva de aprendizaje de todos los participantes llegó a un nivel asintótico.

Debido a la diferencias encontradas en estudios que evalúan la participación de estructuras cerebrales en el aprendizaje motor, algunos autores enfatizan que los resultados pueden deberse a factores relacionados con la edad y diferencias sexuales (Raz y cols. 2000). Por su parte Doyon y cols. (2003) proponen que mucha de esta variabilidad puede deberse al tipo de tarea motora que se utiliza y a la fase del aprendizaje en que los sujetos son escaneados durante el entrenamiento. Además, estos autores sugieren que tanto los núcleos de la base como el cerebelo contribuyen diferencialmente en el aprendizaje de habilidades motoras. Esto se hace evidente tanto durante la fase de aprendizaje rápido (momento que da lugar a nuevos comportamientos), como durante la fase de aprendizaje lento (automatización de la tarea), cuando los sujetos logran un rendimiento asintótico sobre la curva de aprendizaje.

Otra posibilidad es que en estos estudios no se controló la hora en que se realizaron los experimentos. Esto se considera ya que al igual que otros procesos cognitivos, como la memoria de trabajo y la atención, el aprendizaje de habilidades motoras también podría afectarse en su eficiencia. Es posible que los ritmos circadianos influyan en la ejecución de estas tareas. De ahí la importancia de conocer con precisión cómo los ritmos biológicos impactan la eficiencia cognitiva. Este conocimiento puede ser empleado para conocer en qué momento del día se facilita el aprendizaje de nuevas habilidades motoras.

1.3 Ritmos Circadianos

Los organismos mantienen una adecuada coordinación en el tiempo de los distintos procesos que los mantienen vivos, desde el nivel molecular hasta el

conductual. Dicha coordinación en el tiempo no se refiere tan sólo a una adecuada secuencia de eventos fisiológicos encadenados entre sí. Sino a la anticipación y coincidencia de procesos fisiológicos complejos, relativamente independientes, de los que dependen cambios en la conducta, como el ciclo sueño-vigilia. Este orden temporal de los procesos fisiológicos es resultado de una organización codificada en el genoma de los organismos (Aguilar-Roblero y cols. 2004a). La manifestación más notable de la organización temporal de los organismos son los ritmos biológicos, definidos como las variaciones que se dan a intervalos regulares y se presentan con cierta regularidad (Gruart y cols., 2002); de ahí que se denominen ritmos.

Los ritmos biológicos se originan por el propio organismo y son endógenos (Aguilar-Roblero, 1993). Algunos de los ritmos biológicos de los animales, por ejemplo, el latido cardíaco o la descarga espontánea de algunas células cerebrales, se manifiestan con una alta frecuencia, en cambio otros, como los ciclos menstruales y reproductores, así como los ciclos migratorios poseen periodicidades largas, como semanas o meses. Para sistematizar el estudio de los ritmos se han utilizado diversas clasificaciones, por ejemplo, los ritmos biológicos con periodos de 30 minutos a 6 horas se les denomina ultradianos, y a los que tienen un periodo de 28 horas a seis días, infradianos (Gruart y cols., 2002). De interés para la presente investigación, son los ritmos circadianos, es decir aquellos que se presentan con una periodicidad cercana a un ciclo por día (Aguilar-Roblero y cols. 2004b). Se les denomina circadianos, porque la palabra deriva del latín “circa” cercano y “dies” día, cercano a un día (Gruart y cols. 2002).

1.3.1 Estructuras cerebrales involucradas en los ritmos circadianos

El sistema circadiano está formado por osciladores cuyo periodo es cercano a 24 horas, que sirven para medir el tiempo biológico en los organismos y que es capaz de ajustarlo al tiempo geofísico derivado de la rotación de la tierra (Aguilar-Roblero y cols. 2004b). En los vertebrados dependiendo de la especie, se ha propuesto como osciladores circadianos a las células ganglionares de la retina, la glándula pineal y al núcleo supraquiasmático. En anfibios, reptiles y aves se ha documentado ampliamente el papel de las células ganglionares de la retina y la glándula pineal como osciladores circadianos. Mientras que en los mamíferos, de acuerdo a la evidencia con roedores y en relación a la luz como estímulo sincronizador, el oscilador se localiza principalmente en el Núcleo Supraquiasmático (NSQ, Aguilar-Roblero y cols. 2004a). Dicha estructura funciona como un reloj maestro endógeno, capaz de mantener ciclos diurnos de cambios fisiológicos, aun cuando no existen claves ambientales temporales como el ciclo luz-oscuridad (Esseveldt, Lehman y Boer, 2000; Pinel, 2007).

En los mamíferos, el NSQ está conformado por varios núcleos que se localizan en la porción ventral del hipotálamo anterior, ventrolateral al receso óptico del tercer ventrículo y dorsal al quiasma óptico. Cada núcleo está formado por aproximadamente 8,000 neuronas de tamaño pequeño (entre 8 y 12 μm de diámetro), y la mayoría de sus neuronas sino es que todas, sintetizan GABA (Abrahamson y Moore, 2001; Aguilar-Roblero y cols. 2004b).

La lesión bilateral del NSQ en ratones produce la desorganización del patrón circadiano que caracteriza diversas conductas y parámetros fisiológicos (Moore y Eichler, 1972; en Aguilar-Roblero y cols. 2008), mientras que el trasplante del NSQ fetal en animales lesionados restablece algunos de los ritmos desorganizados por dicha lesión (Drucker-Colin y cols. 1984; Aguilar-Roblero y cols. 1994). Así mismo, la

estimulación eléctrica o química de estos núcleos induce cambios de fase en el ritmo de actividad motora y de ingestión de agua (Mintz y cols. 1999). Una de las características más importantes del NSQ es que presenta un ritmo intrínseco de su actividad eléctrica y metabólica, cuyos valores máximos ocurren durante el día, estos ritmos persisten aun cuando los sujetos se exponen a condiciones de iluminación constante (Schwartz, 1991) e incluso cuando el NSQ se registra en condiciones *in vitro* (Newman, 1991).

El funcionamiento del NSQ en la actualidad sigue siendo estudiado, pero se tiene evidencia que la mayoría de las neuronas de este núcleo presentan ritmos circadianos en forma independiente (Welsh y cols. 1995; Reppert y Sauman, 1995). Lo cual podría indicar que las neuronas del NSQ inherentemente tienen la capacidad de generar un patrón circadiano (Aguilar-Roblero y cols. 2007). De acuerdo con estudios realizados en ratones, se tiene evidencia que el ritmo circadiano de la actividad de las neuronas del NSQ es consecuencia de la oscilación de un conjunto de genes llamados genes reloj, que al parecer forman asas de retroalimentación transcripción-traducción (Aguilar-Roblero y cols. 2004b). Se han identificado en el NSQ del ratón al menos dos familias de genes llamados: *mper* (1, 2, y 3) y *mcry* (1 y 2) (Albrecht y cols, 1997; Zylka y cols. 1998; Gruart y cols. 2002).

En vertebrados, aparte del NSQ se han identificado otras tres estructuras relacionadas con sistemas de fotorecepción asociadas a la regulación de los ritmos circadianos: la glándula pineal, que mediante su producción de melatonina proporciona información al organismo sobre la duración del ciclo luz-oscuridad, además de actuar como un sincronizador para el NSQ; y las células ganglionares de la retina, que detectan la cantidad de luz ambiental necesaria para sincronizar la actividad del

organismo con el ciclo luz-oscuridad (Gruart y cols., 2002; Aguilar-Roblero y cols. 2004b).

En el caso del ser humano no existen estudios directos sobre la ubicación y organización funcional del sistema circadiano, pero se ha podido demostrar que algunas propiedades de los ritmos circadianos de los mamíferos son similares en el hombre. Esto nos haría suponer que, al igual que con otros procesos fisiológicos, podemos extrapolar al hombre el conocimiento acerca del sustrato neurobiológico que regula los ritmos circadianos investigados en otras especies (Aguilar-Roblero y cols. 2007).

1.3.2 Variaciones Circadianas

En casi todos los seres vivos, desde organismos unicelulares, plantas, animales hasta en el ser humano, se han documentado variaciones fisiológicas a lo largo del día (Koukkari y Sothorn, 2006). Estas variaciones fisiológicas son un claro indicador de la fase circadiana en la que se encuentran los organismos. Ejemplos de estas variaciones son:

- a) La temperatura corporal: existen estudios como en humanos (Scales y cols. 1988) que describen que a lo largo de las 24 horas existe un incremento de la temperatura hacia el mediodía y parte de la tarde (entre 12:00 y 17:00 horas), alcanzando su mayor punto o zenit (37.7°C) a las 17:00 horas. Sin embargo, la temperatura corporal va descendiendo hacia a finales de las 24 horas, alcanzando su nivel más bajo o nadir (36.5°C) en las primeras horas de la madrugada (aproximadamente a las 4:00 horas). La temperatura es un índice básico del metabolismo corporal

y su medición podría predecir el nivel de ejecución de los organismos (Kleitman, Titelbaum y Feiveson, 1937), ya que los cambios en la temperatura corporal podría implicar cambios en todos los procesos fisiológicos, incluyendo el sistema nervioso y la actividad de todos los órganos del cuerpo (Valdez y cols. 2009).

- b) La secreción de cortisol y el factor neurotrófico derivado del cerebro: el cortisol es una hormona secretada por la corteza de la glándula adrenal y juega un papel importante en el metabolismo de glucosa y proteínas, entre otras funciones. En humanos los niveles de secreción de esta hormona declinan durante la noche y las primeras horas de la madrugada alcanzando su nadir a la 1:00 hora y su zenit entre las 7:00 y 8:00 horas (Selmaoui y Touitou, 2003). El cortisol ha sido correlacionado con los niveles de variación diurna del factor neurotrófico derivado del cerebro o BDNF, por sus siglas en inglés (Begliuomini y cols. 2008). El BDNF tiene una función importante en el desarrollo, diferenciación y mantenimiento de las neuronas durante el desarrollo cerebral, así como también en la plasticidad sináptica del hipocampo (Kolbeck, 1999), reforzando con ello procesos como aprendizaje y memoria. Por ejemplo, Begliuomini y cols. (2008) realizaron un estudio con 34 hombres sanos a quienes se les midieron sus niveles de BDNF y cortisol en plasma a las 8:00, 12:00, 16:00, 20:00 y 24:00 horas. Los resultados mostraron que los niveles de BDNF y cortisol fueron más altos a las 8:00 horas en comparación con las 24:00 horas (Begliuomini y cols. 2008). Además, se observó una correlación positiva entre los niveles de cortisol y BDNF, por lo que podemos concluir que ambas sustancias no sólo están involucradas en el

mantenimiento de funciones cerebrales y homeostasis de los organismos, sino que además podrían estar reguladas por las mismas estructuras (Begliomini y cols. 2008).

- c) El receptor a cannabinoides 1 (CB1): en ratas se ha reportado que este tipo de receptor varía su expresión en diversas estructuras del sistema nervioso (Valeti y cols. 2004; White and McDonald, 2002; Murillo-Rodríguez, Desarnaud y Prospéro-García, 2006). Por su importancia en este estudio, mencionamos al estriado (que se encuentra involucrado en el aprendizaje procedimental) a lo largo del ciclo luz-oscuridad; el receptor CB1 tiene su zenit a las 13:00 horas y su nadir a la 1:00 hora (Murillo-Rodríguez y cols. 2006). Sin embargo, no se ha reportado una relación entre las variaciones diurnas del receptor CB1 y el aprendizaje motor.

Estas variables fisiológicas son sólo algunos ejemplos de las descripciones que se han reportado en la literatura. Sin embargo, también se ha documentado la relación que existe entre algunas variaciones circadianas y procesos cognitivos tales como el aprendizaje y la memoria.

1.4 Cambios en la eficiencia Cognitiva asociadas a variaciones circadianas

La eficiencia en procesos cognitivos puede estar influenciada por diversos factores como el sueño y los ritmos circadianos, entre otras variables. De hecho, existe evidencia que el momento del día y la privación de sueño influyen en el rendimiento de tareas cognitivas (Williamson y Friswell, 2011). Tomando en cuenta estos hallazgos, el presente estudio tomará solamente como marco un ciclo de 12 horas y no de 24 horas,

con el fin de evitar la influencia de factores que podrían afectar la investigación, tal como sería la privación de sueño en los participantes.

Por otro lado, encontramos en la literatura que la primera investigación realizada entre la ejecución de tareas cognitivas y variaciones diurnas fue hecha por Kleitman (1933), quien observó una variación en la rapidez y precisión de la ejecución en cinco tareas que requerían razonamiento mental y habilidad motora (ordenar un juego de cartas; dibujar por en medio de dos contornos una tercera línea de una figura en forma de estrella de cinco picos, pero viendo el trazo a través de un espejo; copiar un texto de sílabas sin sentido y después transcribirlo en un código previamente aprendido). Estas tareas cognitivas fueron evaluadas cinco veces por día a las 7:00, 8:00, 12:00, 18:00 y 23:00 horas. Los resultados que encontró fue que los sujetos tuvieron un mayor rendimiento cuando ejecutaron las tareas a las 12:00 y a las 18:00 horas que cuando las realizaron a las 7:00 a las 8:00 y a las 23:00 horas. Por otro lado, la temperatura, alcanzó su mayor incremento a las 12:00 y 18:00 horas; y la mínima temperatura registrada fue a las 07:00 y 23:00 horas. Kleitman (1933) sugirió que podría existir un paralelismo entre el ritmo diurno de la temperatura corporal y la ejecución de este tipo de tareas cognitivas y motoras que podían reflejar una relación causal. Sin embargo, cabe mencionar que debido a que el estudio se realizó a principios de siglo, no tiene mediciones rigurosas de los participantes y medidas de control suficientes (por ejemplo, el sujeto hacía sus propios registros).

Chaudhury y Colwell (2002) observaron el efecto del ciclo luz-oscuridad en ratones que fueron entrenados en el día o en la noche en una tarea de condicionamiento al miedo (condicionamiento clásico); esta tarea consistió en emitir un sonido seguido de una descarga eléctrica en las patas de las ratas; en la fase de prueba se midió el porcentaje de tiempo que las ratas, al escuchar el mismo tono,

presentaban conducta de congelamiento (es decir, que el animal no presentaba ningún movimiento, salvo las autonómicas). Los resultados indicaron que los sujetos aprendieron la tarea con mayor facilidad durante la fase de luz que durante la fase de oscuridad. Además, la conducta de congelamiento mostró una mayor resistencia a la extinción cuando los sujetos fueron entrenados durante la fase de luz que cuando lo hicieron en la fase de oscuridad (Chaudhury y Colwell, 2002).

Rueda-Orozco y cols. (2008b) reportaron en un estudio con ratas que los efectos de los endocannabinoides son dependientes del ciclo luz-oscuridad. Los sujetos fueron entrenados en grupos independientes para que solucionaran el laberinto de Barnes a las 13:00 y 1:00 horas, respectivamente. Estos horarios se determinaron por estudios previos de niveles de expresión de CB1 en hipocampo y estriado. La tarea consistió en encontrar un agujero con un túnel para escapar, ya sea con una estrategia espacial (llegar directamente al agujero) o con una serial (explorar cada agujero en una secuencia ordenada hasta llegar a la meta). Rueda-Orozco y cols. (2008b) encontraron que la estrategia de las ratas para resolver el laberinto de Barnes fue diferente en función del ciclo. Los sujetos que aprendieron en la fase de oscuridad mostraron una estrategia serial para resolver el laberinto; mientras que los que aprendieron en la fase de luz, utilizaron preferentemente una estrategia espacial. Estos hallazgos indican que los procesos cognitivos, que a su vez son dependientes de las funciones cerebrales, están influenciados por las variaciones fisiológicas que ocurren a lo largo del día.

En humanos también se ha observado que la ejecución en tareas cognitivas podría estar modulada por variaciones circadianas. Por ejemplo, Valdez y cols. (2010) evaluaron la temperatura rectal (cada minuto) y el proceso de atención sostenida en nueve participantes midiendo el porcentaje de respuestas correctas y el tiempo de reacción. Se utilizó la tarea de rutina constante durante 28 horas, en que se controló la

ingestión de comida, la actividad motora, la iluminación y la temperatura de la habitación. En la tarea de atención se presentaba a los sujetos en una pantalla un dígito; los participantes tenían que presionar la tecla "1" ante cualquier número que apareciera (excepto 9), "2" sólo que se presentará el número 9 y "3" solamente cuando apareciera el número 4 después del 9. Además, se midieron el grado de somnolencia y fatiga en los sujetos a través de escalas subjetivas. El nadir del porcentaje de respuestas correctas estuvo entre las 24 hrs y 5 hrs, mientras que el zenit entre el medio día y las 18:00hrs. Para el tiempo de reacción, el grado de somnolencia y la fatiga tuvieron su zenit entre las 23:00 hrs y las 04:00 hrs, y su nadir (entre las 6:00 y 8:00 hrs). También se observó una correlación directa significativa del ritmo de la temperatura rectal con las variables dependientes anteriores: durante el día la temperatura y el porcentaje de respuestas correctas aumentaron, mientras que una correlación inversa entre la temperatura y demás variables, menor temperatura se correlacionó con mayores tiempos de reacción, somnolencia y fatiga.

Por otro lado, Robertson, Press y Pascual-Leone (2005) evaluaron el impacto de las variaciones diurnas en el aprendizaje de una habilidad motora. Se entrenó a dos grupos diferentes de voluntarios sanos a las 8:00 y a las 20:00 hrs. La habilidad consistió en responder, a través de un botón, lo más rápido posible a la presencia de un círculo, que podía ubicarse en una de cuatro posibles posiciones en una pantalla. Cada posición del círculo estaba asociada a uno de los cuatro dígitos de la mano, excluyendo al pulgar. Los sujetos realizaron de manera repetida una secuencia de 12 posiciones a lo largo de 25 repeticiones. Solamente se evaluó el tiempo de reacción. Se encontró que ambos grupos aprendieron de igual forma la tarea, sin importar el momento de la adquisición. Sin embargo, la tarea empleada en este estudio, si bien puede considerarse una habilidad motora, involucra una tarea de estímulo-respuesta,

que requiere únicamente coordinación motora fina, que no necesariamente refleja la adquisición de una habilidad motora en vida cotidiana (p. ej., manejar o bailar), es decir, no refleja la participación de la coordinación motora gruesa además de la fina. Por otro lado, este estudio tampoco nos indica si varían las fases de adquisición (i. e., fase rápida y lenta) en función de la hora del día. En este estudio no emplearemos una tarea de habilidad motora fina (movimientos únicamente de los dedos de la mano) como en el estudio de Robertson y cols. (2005), sino que utilizamos la tarea de dibujo de la estrella a través del espejo, es decir, la adquisición de una habilidad motora compleja, porque involucra la participación de diversos grupos musculares y articulaciones para poder mover los dedos de la mano, la mano, la muñeca, el brazo, antebrazo y el hombro.

Los resultados citados dan evidencia que la ejecución en algunas funciones cognitivas en humanos expresan fluctuaciones a lo largo del día, mostrando mejor ejecución durante la fase de luz que durante la fase de oscuridad. Esto indica que el sistema nervioso central está sujeto a un reloj y que, por lo tanto, las respuestas emitidas por los organismos no serán iguales a lo largo del ciclo luz-oscuridad. Por otro lado, el paralelismo mostrado entre la temperatura y las variables dependientes, además de ser un indicador del transcurso del ritmo circadiano, también indican que estos cambios endógenos ocurridos a lo largo del día influyen sobre la ejecución de algunas tareas cognitivas. Específicamente, está demostrado que existe mayor eficiencia en la atención durante el día en comparación de la noche. Sin embargo, se desconoce cómo las variaciones diurnas en humanos impactan la eficiencia en otras funciones como el aprendizaje de habilidades motoras complejas.

2 Planteamiento del problema

El aprendizaje es un proceso fundamental en los organismos que permite su adaptación al medio ambiente. Gracias al aprendizaje, se adquiere información como habilidades y hábitos, que permiten al individuo interactuar eficientemente con el medio. Por ejemplo, cuando se adquiere una habilidad motora (aprendizaje rápido), la atención se focaliza solo en la ejecución de la tarea, sin embargo, cuando la habilidad se automatiza (aprendizaje lento), entonces en paralelo se puede ejecutar otra tarea cognitiva (por ejemplo, platicar mientras se maneja). Se sabe que los núcleos de la base, el cerebelo y la corteza motora participan en las fases de aprendizaje rápido y lento, respectivamente. La ejecución de este tipo de tareas dependen de diversos factores como los cambios que ocurren en el organismo a lo largo del día (Walker y cols. 2002; Cajochen y cols. 2004; Schmidt y cols. 2007) y que influyen en el desempeño. Esto podría sugerir que el funcionamiento cerebral es diferente en la mañana que en la noche. Por ello, consideramos importante responder la siguiente pregunta: ¿Existe diferencia en la eficiencia para aprender una habilidad motora compleja si se entrena en la mañana que en la noche?

El conocimiento de esta información podría tener una potencial aplicación en la industria, en especial en las fábricas, que constantemente reportan grandes pérdidas económicas debido a accidentes de trabajo. Otra aplicación sería en el área de la salud, por ejemplo, en las cirugías asistidas por robots, ya que se requiere que los cirujanos aprendan a usar este equipo con la mayor destreza posible, para obtener los resultados esperados.

3 Objetivo

El objetivo del presente estudio fue detectar si el aprendizaje de una habilidad motora compleja es diferente cuando se aprende en la mañana (8 hrs) que cuando se aprende en la noche (20 hrs).

4 Método

4.1 Participantes

Participaron 14 mujeres y 14 hombres, de 23.53 ± 2.00 años (Media \pm Desviación estándar) de edad, con 16.71 ± 1.30 (Media \pm Desviación estándar) años de estudio y con lateralidad diestra (evaluada con el inventario de Edimburgo). Los criterios de inclusión fueron los siguientes:

- No haber consumido ninguna droga ilícita en los últimos 12 meses previos a la sesión experimental.
- No consumir o haber consumido algún medicamento que altere el sistema nervioso central.
- No tener o haber tenido abuso o dependencia a ninguna droga, incluyendo cafeína, nicotina o alcohol.
- No haber sido diagnosticado con algún tipo de enfermedad neurológica o psiquiátrica (por ejemplo, depresión, ansiedad, enfermedad de Parkinson, etc.), y no tener algún familiar en línea directa (padres o hermanos) con algún trastorno de esta índole.
- Tener vista normal o corregida

Los criterios de exclusión fueron:

- Tener un puntaje menor a 12 puntos normalizados en la Subescala de vocabulario de la Escala de Inteligencia de Wechsler para Adultos, versión revisada (WAIS-R) para

población mexicana. Ya que esto indicaría que el participante, tal vez, no pueda entender las instrucciones.

-Presentar más de 30 puntos en el Inventario de Depresión de Beck y/o más de 26 puntos en el Inventario de Ansiedad de Beck.

-Estar embarazada

Los criterios de eliminación fueron:

-No haber concluido con la sesión experimental por propia decisión.

Los participantes se dividieron aleatoriamente en dos grupos, integrados por igual número de hombres y mujeres. Cada grupo correspondió al momento en que se llevó a cabo la sesión experimental, mañana (8:00 hrs) o noche (20:00 hrs). Ver procedimiento.

4.2 *Instrumentos*

4.2.1 *Cuestionario de Datos Generales*

Se recabaron datos generales del participante como: nombre completo, fecha de la entrevista, edad, sexo, fecha de nacimiento, teléfono particular y celular, escolaridad, correo electrónico, dirección, años de estudio y carrera. También se le cuestionó al participante si él o algún familiar en línea directa padecía alguna enfermedad neurológica o psiquiátrica; y si a la fecha del estudio tomaba algún medicamento. Esta información fue averiguada con el único fin de detectar si el sujeto era candidato para participar en el estudio.

4.2.2 *Inventario de Edimburgo*

Este cuestionario es autoaplicable y evalúa la lateralidad del participante indicando la preferencia del uso de las manos y otras regiones del cuerpo. Se compone de 12 preguntas, para las cuales los participantes tienen cinco opciones de respuesta (con distinto valor) sobre la frecuencia de uso: Derecha muy preferente (2 ptos. para lado derecho), Derecha preferente (1 pto. para lado derecho), Mano indiferente (1 pto. para lado derecho y 1 pto. para lado izquierdo), Izquierda preferente (1 pto. para lado izquierdo) e Izquierda muy preferente (2 ptos. para lado izquierdo). Los participantes eligieron la opción que más se ajustó a la preferencia de uso de sus manos y otras regiones de su cuerpo. La puntuación de este cuestionario se obtiene de la siguiente forma:

$$\frac{(\text{Suma puntuación derecha} - \text{Suma puntuación izquierda})}{\text{Puntuación derecha} + \text{Suma puntuación izquierda}} \times 100$$

Solamente participaron en el estudio los sujetos que obtuvieron una puntuación mayor a +40, puntaje a partir del que se detecta que la lateralidad es diestra.

4.2.3 *Evaluación de Consumo de Sustancias Psicoactivas*

El objetivo de este cuestionario, fue saber si el participante consumió alguna droga o sustancia a lo largo de su vida y determinar si presentó dependencia o abuso a esa sustancia. Este cuestionario incluyó una lista clasificada de sustancias como marihuana, cocaína, estimulantes, narcóticos, alucinógenos, inhalantes, tranquilizantes o alguna otra sustancia como píldoras adelgazantes, esteroides o alguna sustancia que no se le haya mencionado al sujeto. El participante respondió sí o no a cada grupo de sustancias. Fueron descartados todos los participantes que consumieron en el

último año alguna droga o sustancia ilícita y/o que presentaron dependencia o abuso a cualquier sustancia.

4.2.4 Cuestionario de Consumo de Cafeína, Nicotina y Alcohol, de acuerdo al DSM-IV R (Manual de Diagnóstico y Estadístico de Enfermedades Mentales IV, texto revisado).

Estos tres cuestionarios evalúan por medio de preguntas con respuesta dicotómica (sí o no), la dependencia a cafeína, nicotina y alcohol. Para este último se evalúa también abuso. Con tres puntos o más en dependencia, el sujeto fue excluido de la investigación.

4.2.5 Subescala de Vocabulario de la Escala de Inteligencia Wechsler para Adultos Versión Revisada para Población Mexicana (WAIS-R).

Es una subescala compuesta por una lista de 40 palabras, el participante respondió al significado de cada una de ellas. La aplicación de esta subescala evalúa la fluidez y manejo del lenguaje del participante. Para cada uno de los reactivos se califican con valores que van de (0) si el significado es incorrecto, (1) si el significado muestra pobreza en el contenido y (2) si el significado muestra buena comprensión de la palabra. La puntuación máxima de esta subescala es de 80 puntos. Fueron incluidas solamente las personas que obtuvieron un puntaje normalizado mínimo de 12 puntos.

4.2.6 Cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad de Horne y Östberg.

Este cuestionario evalúa el perfil de matutinidad y vespertinidad (cronotipo) de una persona de acuerdo al momento del día en que preferentemente realiza sus

actividades. Utilizamos la versión reducida y estandarizada en población española (Adan y Almirall, 1990), debido a que en México no está estandarizada. Este cuestionario consta de cinco preguntas con diferentes opciones de respuesta tipo Likert. El participante eligió aquella con la que más se identificó. Se otorgan de 1 a 5 puntos en cada pregunta y se suma el puntaje total; con este resultado, de acuerdo a un rango, se identifica si el sujeto es Claramente Matutino (CM, de 22 a 25 pts.), Moderadamente Matutino (MM, de 18 a 21 pts.), Indiferenciado (NT, de 12 a 17 pts.), Moderadamente Vespertino (MV, de 8 a 11 pts.) o Claramente Vespertino (CV, de 4 a 7 pts.).

4.2.7 Inventario de Depresión de Beck

Es un instrumento autoaplicable de lápiz y papel. Evalúa la frecuencia en que se presentan síntomas de depresión en una persona. Contiene 21 grupos de oraciones integrados en categorías como: ánimo, pesimismo, sensación de fracaso, insatisfacción, sentimientos de culpa, sentimientos de castigo, autoaceptación, autoacusación, ideación suicida, llanto, irritabilidad, aislamiento, indecisión, apetito, pérdida de peso, preocupación somática y pérdida de interés sexual. El participante eligió una oración de cada grupo con la que mejor se identificó en las últimas dos semanas, incluyendo el día de la aplicación. Las puntuaciones para cada uno de los grupos de oraciones son de 0 a 3 puntos. La calificación final se obtuvo sumando las puntuaciones de cada grupo. Si la calificación fue mayor a 30 puntos, se citó dos semanas después al participante para volver hacer la evaluación. Si después de esto no disminuyó el puntaje, el participante quedó excluido de la investigación.

4.2.8 Inventario de Ansiedad de Beck

Es un instrumento de lápiz-papel autoaplicable. Evalúa la frecuencia de síntomas relacionados con ansiedad en una persona durante la última semana, incluyendo el día de la aplicación. Se compone de 21 reactivos que describen aspectos físico-somáticos como: sensaciones de calor, dificultad para relajarse, terror, miedo a morir e indigestión, entre algunos otros síntomas. El participante eligió la frecuencia con que presentó estos síntomas a través de una escala Likert donde 0.- es Nada o poco, 1.- Más o menos, 2.- Moderadamente y 3.- Severamente. Las personas que obtuvieron un puntaje igual o mayor a 26 puntos fueron citadas una semana después para reevaluarlos. Los participantes que obtuvieron por segunda ocasión un puntaje igual o mayor a 26 fueron excluidos del estudio.

4.2.9 Escala de Somnolencia Diurna de Epworth

Es una escala autoaplicable que evalúa el nivel de somnolencia durante el día, tomando en cuenta la última semana previa a su aplicación. Está compuesta por ocho reactivos para los cuales los participantes tienen cinco opciones de respuesta con valor diferente: Nunca (0), Sólo algunas veces (1), Muchas veces (2) y Casi siempre (3). Se aplicó esta escala a todos los participantes en la primera sesión experimental (ver procedimiento). Esta escala no fue considerada como un instrumento de exclusión del estudio.

4.2.10 Escala Subjetiva de Alerta-Fatiga

Es un instrumento autoaplicable que evalúa la sensación subjetiva de alerta. Está conformado por una escala tipo Likert con valores que van de Alerta (1) a Fatigado (7). Este se aplicó antes y después de la sesión experimental (ver procedimiento).

4.2.11 Escala Subjetiva de Relajación-Estrés

Es un instrumento autoaplicable que evalúa la sensación subjetiva de estrés a través de una escala tipo Likert, donde 1 es Muy relajado y 9 es Muy estresado. También se aplicó antes y después de la sesión experimental (ver procedimiento).

4.2.12 Total de horas dormidas y sensación de descanso al levantarse

Se le preguntó al participante a qué hora se durmió la noche anterior a la sesión experimental, así como también a qué hora se despertó el día correspondiente a cada una de estas. Así se obtuvo el total de horas dormidas. También en ambas sesiones experimentales se evaluó la sensación subjetiva de descanso al levantarse, por medio de una Escala Likert donde 0 correspondía a Descansado; 1.- Algo cansado y 2.- Fatigado (ver procedimiento). Esta información se tomó en cuenta como una medida de control.

4.2.13 Hora de exposición a la luz

Se le preguntó al participante la hora en la que por primera vez en el día se expuso a la luz solar o artificial en la sesión experimental (ver procedimiento).

4.3 Materiales y aparatos

Se utilizó un aparato construido con una base de madera rectangular de 30 X 30 cm, de la cual sobresale un panel de 15 X 32 cm que obstruye la visión directa al estímulo (ver Figura 7). Se ajustó el panel de acuerdo a cada participante. De forma

perpendicular a la base, se colocó un espejo de 30 X 33 cm, a través del cual el participante miró para ejecutar la tarea.

Para realizar la tarea los sujetos utilizaron un lápiz del no. 2, con una medida de 8 centímetros. Además, se utilizó un cronómetro con precisión de centésimas de segundo para medir el tiempo de respuesta de los sujetos.

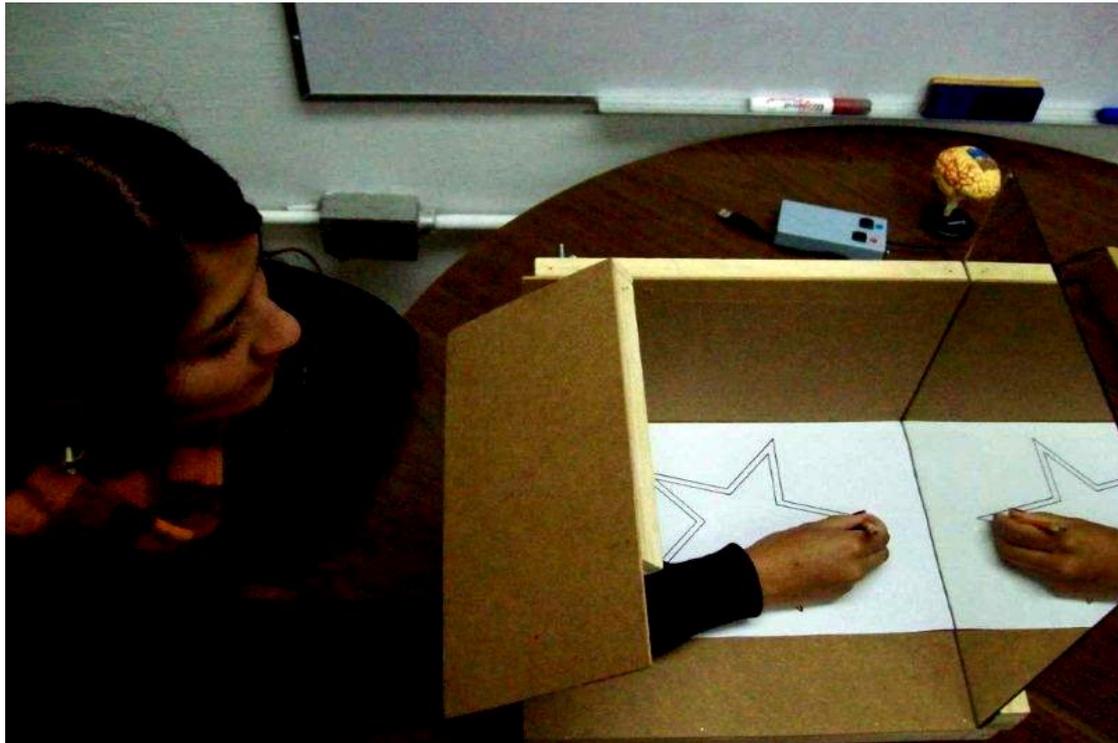


Figura 7. Participante ejecutando la tarea de dibujo de la estrella a través del espejo en el aparato de madera. Se observa como el panel se ajusta a la vista del participante de tal modo que obstruye la visión directa a la estrella pero que permite mirarla a través del espejo.

4.4 Estímulo

Se empleó una estrella de cinco picos de doble contorno (con un espacio intermedio de 0.5 centímetros). Mide 19 centímetros verticalmente y 17.5 centímetros horizontalmente. La estrella fue impresa en hojas de papel bond tamaño carta.

4.5 Procedimiento

A cada sujeto primero se le realizó una entrevista y posteriormente se llevó a cabo la sesión experimental. A continuación se detallan las fases del estudio:

4.5.1 Entrevista: al inicio de esta sesión, el participante leyó una carta de consentimiento informado, en la que se describieron los objetivos de la investigación y los procedimientos; se le aclaró al sujeto que su participación en este estudio era completamente voluntaria y que podría retirarse de ella en cualquier momento si así lo deseaba, sin consecuencia alguna. También se señaló la confidencialidad de sus datos, mencionando que sólo serían usados para fines de investigación. Una vez que el participante externó sus dudas (si fue el caso) y aceptó participar, se inició una entrevista estructurada empleando diversos cuestionarios (descritos previamente). Inicialmente, se preguntaron los datos generales del participante y se aplicó: el Inventario de Edimburgo, la Evaluación de consumo de sustancias psicoactivas, los Cuestionarios para evaluación de dependencia y consumo de Cafeína y Nicotina; el Cuestionario de dependencia y abuso de Alcohol, la Subescala de vocabulario WAIS-R y el Cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad de Horne y Östberg. Una vez que el participante cubrió los criterios de inclusión, se acordó una cita para la sesión experimental.

4.5.2 Sesión experimental - Fase de Entrenamiento: Se dividió a los sujetos en dos grupos independientes. Cada grupo realizó la sesión experimental en uno de dos horarios, a las 8:00 horas (Grupo de entrenamiento matutino) o a las 20:00 horas (Grupo de entrenamiento vespertino). Se aplicaron los inventarios de Depresión y Ansiedad de Beck antes de iniciar la sesión experimental, a fin de descartar sintomatología asociada a depresión o ansiedad y que los resultados del experimento no se debieran a estos síntomas. También se aplicaron la Escala de Somnolencia Diurna de Epworth, las Escalas Subjetivas de Alerta-Fatiga y Relajación-Estrés. Y se le preguntó al participante el total de horas dormidas en la noche anterior a esta sesión experimental, así como la sensación subjetiva de descanso al levantarse y la hora de exposición a la luz solar o artificial.

Posterior a la aplicación de los cuestionarios, se realizó el experimento. Se colocó el aparato de frente al participante, quien estaba sentado cómodamente; el panel que sobresale del aparato se acomodó, de tal forma que el participante no viera directamente la figura, el lápiz o su mano, sino sólo a través del espejo. La estrella quedó con uno de los picos apuntando al espejo (de frente al participante). El punto para iniciar el trazo fue en la punta de la estrella que estaba más cercana al espejo. Las instrucciones mencionadas al participante fueron las siguientes: *“Traza una línea por en medio del doble contorno siguiendo la figura de la estrella, deberás hacerlo en el menor tiempo posible y sin errores. Un error es: cada vez que toques la línea, cada vez que te salgas de la estrella y cada vez que separes el lápiz de la hoja. Debes iniciar por la punta más cercana al espejo y debes ir en dirección a las manecillas del reloj (se le indicó al participante con la mano, la dirección a la derecha, el punto de*

inicio y de término). El ensayo termina cuando toques nuevamente el punto de inicio. Tu mano y el lápiz sólo los debes ver a través del espejo y no puedes mover la hoja. Es muy importante que lo hagas rápido y lo hagas correctamente". Se le pidió al participante que preguntara sus dudas y que parafraseara las instrucciones para verificar si las entendió. Entonces se le dijo que cuando el experimentador dijera "ya", podía comenzar la tarea. Se tomó el tiempo desde que inició la tarea hasta que llegó nuevamente al punto de partida. Terminado el ensayo se retroalimentó al participante de la siguiente forma: *"Tuviste tantos errores y lo hiciste en tanto tiempo. Tu tarea consiste en hacer el mismo procedimiento pero sin errores y en menos tiempo"*. Estas indicaciones se realizaron para cada uno de los ensayos. Al finalizar 15 ensayos, se le aplicaron nuevamente las Escalas Subjetivas de Alerta-Fatiga y Relajación-Estrés.

4.6 Análisis de datos

Las variables dependientes tomadas en cuenta para cada uno de los análisis estadísticos realizados fueron:

- Número de errores: cada vez que el participante tocó algún borde de la estrella, cruzó las líneas de la estrella o separó el lápiz de la hoja.
- Tiempo de Dibujo (en segundos): medido desde que el participante empezó a trazar la línea hasta que llegó nuevamente al punto de partida.

Se empleó un Análisis de Covarianza Mixto (ANCOVA) para evaluar las variables dependientes durante la Fase de Entrenamiento. El factor entre grupos fue: Grupo de entrenamiento (Matutino vs. Vespertino) y el factor para medidas repetidas fue Número de ensayo (15). Para determinar si los grupos diferían entre características demográficas y de otras variables descriptivas se utilizó la prueba *t*

de Student para muestras independientes o una prueba *U* de Mann-Whitney, según fuera apropiado. En caso de que se encontraran diferencias significativas en alguna o algunas variables entre los grupos, estas variables se utilizarían como covariables en el ANCOVA. Se empleó la prueba Bonferroni como prueba *post hoc*. Se consideraron significativos los resultados con una $P < 0.05$.

5 Resultados

En la Tabla 1 se muestran las variables demográficas y descriptivas de los dos grupos, así como los resultados de las pruebas estadísticas. Entre ambos grupos de entrenamiento, se observaron diferencias significativas en las variables: Número de horas dormidas durante la noche previa a la Fase de entrenamiento ($P=0.0008$), en la hora de exposición a la luz solar o artificial: ($P=0.0005$), y en la medición de Alerta-Fatiga al término de los 15 ensayos de entrenamiento ($*P=0.03$). Por ello, estas variables se utilizaron como covariables en el ANCOVA.

Tabla 1. Características demográficas y de variables descriptivas en ambos grupos de entrenamiento. La media y desviación estándar (Media+Desviación Estándar) son indicados para cada variable a excepción del tamaño de la muestra y el número de hombres y mujeres. En la primera columna también se señala la prueba estadística empleada (*t* de Student para muestras independientes o *U* de Mann-Whitney).

Variables analizadas	Grupo de entrenamiento Matutino (8hrs)	Grupo de entrenamiento Vespertino (20hrs)	P
N #	14	14	
Hombres / Mujeres #	7 / 7	7 / 7	
Edad (<i>t</i>)	23.78±2.04	23.28± 2.00	0.9
Años de estudio (<i>t</i>)	16.42±1.63	17 ±0.78	0.25
Escala de vocabulario WAIS(<i>t</i>)	61.60±4.53	62.50±3.91	0.56
Cronotipo, Cuestionario de Matutinidad-Vespertinidad de Horne y Östberg (<i>U</i>)	13.00 ± 2.98	14.5 ± 2.59	0.16
Inventario de Lateralidad Edimburgo (<i>U</i>)	82.02 ± 18.89	84.97 ± 14.53	0.65
Total de horas dormidas (<i>t</i>). Durante la fase de entrenamiento.	5.45±1.23	6.90±3.0	0.0008*
Hora de exposición a la luz solar o artificial (<i>t</i>). Durante la fase de entrenamiento .	5.58±0.90	7.31±1.36	0.0005*
Escala Subjetiva de Sensación de descanso al levantarse (<i>U</i>).Durante la fase de entrenamiento.	0.86 ± 0.36	0.36 ± 0.61	0.38
Inventario de Depresión de Beck (<i>U</i>)	4.14 ±3.32	7.35 ± 6.07	0.19
Inventario de Ansiedad de Beck (<i>U</i>)	4.57 ± 4.32	6.71 ± 5.45	0.28
Escala de Somnolencia de Epworth(<i>U</i>)	4.00 ±3.13	4.00 ± 2.88	0.61
Escala Subjetiva de Alerta-Fatiga Antes del entrenamiento (<i>U</i>). Durante la fase de entrenamiento.	2.42 ± 0.73	2.75 ± 1.05	0.46
Escala Subjetiva de Alerta-Fatiga Después del entrenamiento (<i>U</i>). Durante la fase de entrenamiento.	1.92 ± 0.80	2.89 ± 1.30	0.03 *
Escala Subjetiva Tipo Likert de Relajación-Estrés Antes del entrenamiento(<i>U</i>). Durante la fase de entrenamiento.	2.28 ± 1.34	2.75 ± 1.55	0.44
Escala Subjetiva Tipo Likert de Relajación-Estrés Después del entrenamiento(<i>U</i>). Durante la fase de entrenamiento .	2.35 ± 1.43	3.53 ± 1.76	0.76
<i>(t)</i> <i>t</i> de Student para muestras independientes $p \leq 0.05$			
<i>(U)</i> <i>U</i> de Mann-Whitney $p \leq 0.05$.			
*diferencias estadísticamente significativas			

La Tabla 2 muestra la frecuencia de los cronotipos en función del grupo experimental y del sexo. No se encontraron diferencias significativas en la frecuencia de los cronotipos entre los grupos ($\chi^2_2=0.44$, $P=0.80$). Por ello, no se realizaron comparaciones entre los grupos de entrenamiento en función del cronotipo, debido a la baja frecuencia de los cronotipos matutino y vespertino.

Tabla 2. Frecuencia de cronotipos matutino, indistinto y vespertino de ambos grupos de entrenamiento.

Grupo de Entrenamiento	Cronotipo Matutino		Cronotipo Indistinto		Cronotipo Vespertino	
	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres	Hombres	Mujeres
Matutino	1	1	5	4	1	2
Vespertino	0	1	5	7	0	1
Total	28					

5.1 Número de errores

De acuerdo al ANCOVA se encontró una interacción significativa entre los factores Grupo de entrenamiento y Número de ensayos ($F(14, 322)=175.49$, $P<0.001$). De acuerdo al análisis *post hoc*, ambos grupos de entrenamiento difirieron en el número de errores sólo en el primer ensayo. Además, ambos grupos tuvieron el mayor número de errores en el primer ensayo comparado con todos los demás (Figura 8). También se observó un efecto principal para el factor Grupo de entrenamiento ($F(1,23)=5.24$, $P=0.03$). El Grupo de entrenamiento vespertino tuvo mayor número de errores (Media \pm EEM; 8.20 ± 1.28) que el grupo de entrenamiento matutino (3.47 ± 1.28). Igualmente, se observó un efecto significativo para el factor Número de ensayos

($F(14,322)=1.91$, $P=0.02$). Debido a que hubo diferencias entre los grupos en las medidas de hora de exposición a la luz, alerta-fatiga después del entrenamiento y número de horas dormidas, estas variables se tomaron como variables independientes. Sin embargo, ninguna de ellas interactuó significativamente con los factores de interés para este estudio (Grupo y Número de errores; $P>0.05$).

5.2 Tiempo de Dibujo

Se encontró una interacción significativa entre los factores Grupo de entrenamiento y Número de ensayos ($F(14, 322)=2.98$, $P<0.001$). Igualmente, y de acuerdo al análisis pos hoc, las diferencias entre los grupos ocurrieron en el primer ensayo (figura 9); el grupo de entrenamiento vespertino tardó más en ejecutar la tarea en el primer ensayo que el grupo de entrenamiento matutino. En ambos casos, el tiempo de ejecución en el primer ensayo difirió de los 14 restantes. No se observó un efecto en función del grupo de entrenamiento ($P=0.16$), pero sí en función del factor Número de ensayos ($F(14,322)=1.86$, $P=0.03$). Igualmente, las variables hora de exposición a la luz, alerta-fatiga después del entrenamiento y número de horas dormidas no interactuaron significativamente con los factores Grupo de entrenamiento ni Número de ensayos ($P>0.05$).

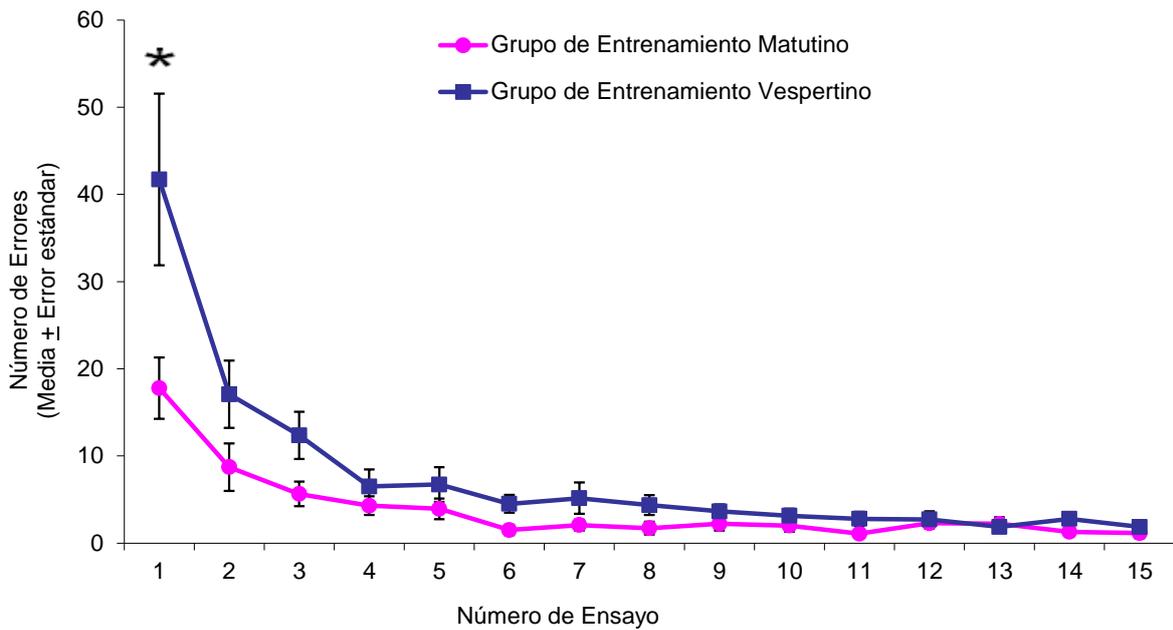


Figura 8. Interacción significativa entre el Grupo de entrenamiento (Matutino (n=14) y Vespertino (n=14)) y el Número de errores cometidos (Medias y errores estándar) durante el entrenamiento de la tarea de habilidad motora. *P<0.001. Las diferencias significativas entre los grupos de entrenamiento se observaron sólo en el ensayo 1.

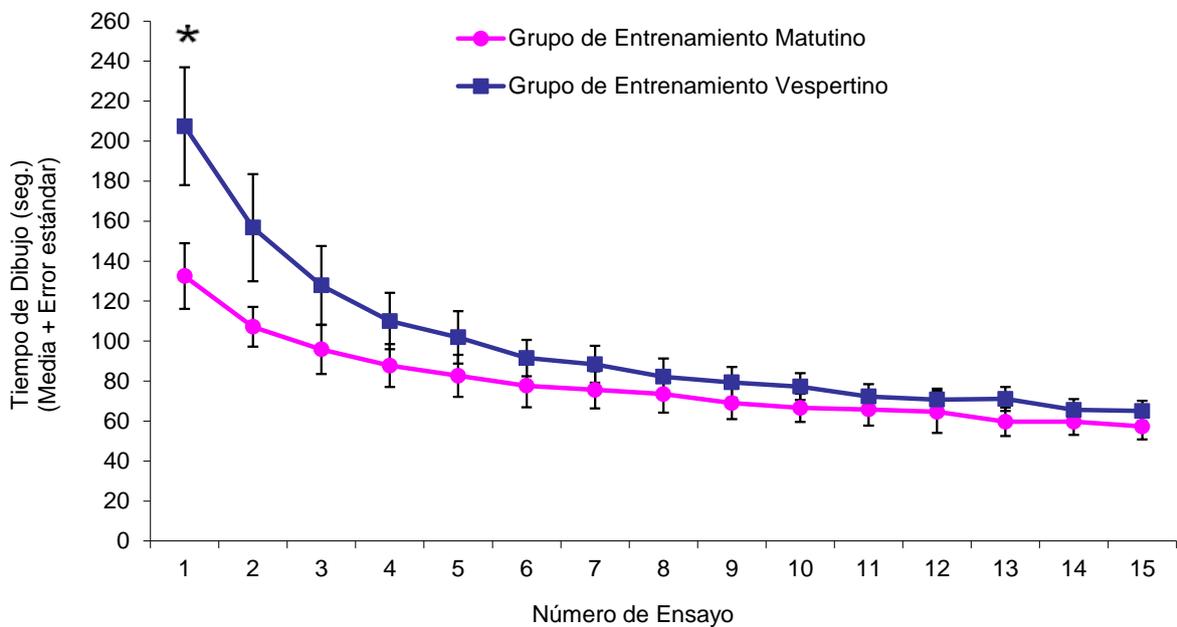


Figura 9. Interacción entre el Grupo de entrenamiento y el Número de ensayo en el Tiempo de ejecución (Medias y errores estándar) durante el entrenamiento de la tarea de habilidad motora P<0.001. Los grupos difirieron sólo en el primer ensayo.

Como pregunta adicional en este estudio, y debido a que se tenía la misma cantidad de hombres y mujeres en cada grupo de entrenamiento, se comparó si existían diferencias significativas en función del sexo. Se empleó el mismo ANCOVA descrito previamente, agregando el factor Sexo como variable independiente, debido a que estudios previos han mostrado que los hombres y las mujeres ejecutan diferencialmente en tareas de habilidad motora (Kennedy y Raz, 2005).

Los resultados del número de errores mostró una interacción significativa entre los factores Grupo de entrenamiento, Sexo y Número de ensayo ($F(14,294)=2.43$, $P=0.003$). Las mujeres que entrenaron la tarea en el grupo vespertino tuvieron significativamente más errores en el primer ensayo (Media \pm EEM, 62.76 ± 10.74) que las mujeres que entrenaron la tarea por la mañana (16.72 ± 9.75), que los hombres del grupo de entrenamiento matutino (15.86 ± 10.13) y que los hombres del grupo de entrenamiento vespertino (28.47 ± 9.45).

6 Discusión

Los resultados obtenidos indican que al menos en el primer ensayo, el Grupo de entrenamiento Matutino presentó significativamente menor número de errores (exactitud) y menor tiempo de dibujo (rapidez), que el Grupo de entrenamiento Vespertino. Ambos grupos aprendieron la tarea, las diferencias estuvieron únicamente en el primer ensayo, es decir, en la fase de aprendizaje rápido; ya que es en este momento se seleccionan y definen las secuencias de movimientos que serán después automatizados (Jueptner y Weiller, 1998; Karni y cols., 1998). En los ensayos subsecuentes no se observan diferencias significativas entre ambos grupos de entrenamiento, debido a que el aprendizaje de la habilidad motora se encuentra en la fase de aprendizaje lento, momento en el cual es posible que sólo se automaticen los movimientos y, por lo tanto, no se observen cambios notables en el rendimiento (Karni y cols., 1998).

Además de que los grupos de entrenamiento difirieron en la ejecución de la tarea, también se observaron diferencias significativas en las medidas de: número de horas dormidas, hora de exposición a la luz y alerta-fatiga después del entrenamiento. Con la finalidad de detectar si estas variables fueron determinantes en los resultados de ejecución, se realizó un análisis de covarianza tomando en cuenta las variables anteriores como covariables. No se encontraron interacciones significativas con estas covariables por lo que a pesar de que difirieron entre grupos, las diferencias en la ejecución de la tarea entre ambos grupos de entrenamiento no se deben a la hora de exposición a la luz, número de horas dormidas o al nivel de alerta-fatiga.

Otra posibilidad es que las diferencias entre los dos grupos de entrenamiento también podrían deberse a que existe mayor control motor en la mañana que en la

noche, más a que se deban a una diferencia en el proceso de aprendizaje. Esto sugeriría que las diferencias entre los grupos de entrenamiento en el primer ensayo se deben a que el control motor es mejor por la mañana que por la noche, pero conforme avanzan los ensayos, el grupo de entrenamiento vespertino va adaptándose y consigue igualar su desempeño al grupo de entrenamiento matutino. Una limitante del presente estudio es que no se realizó una tarea control para observar cómo era el control motor en los participantes. Pero, de acuerdo con datos de un estudio piloto realizado previamente con dos grupos independientes de sujetos ($n=6$, por grupo, 50% mujeres) que ejecutaron una tarea motora de tiempo de reacción simple (presentación de una letra en la pantalla, el sujeto debía responder lo más rápido posible a la presentación de la letra con su dedo índice derecho e izquierdo, 50% de los ensayos con cada lado). No encontramos diferencias significativas en los tiempos de reacción ($P>0.05$), entre ambos grupos de entrenamiento (matutino 8 horas, vespertino 20 horas). Estos resultados sugieren que no hay cambios en el control motor en la mañana que en la noche, al menos para una tarea de habilidad motora simple. Por lo que, sugerimos que las diferencias entre ambos grupos de entrenamiento, podrían no deberse a cambios en el control motor de los participantes y sí al proceso de aprendizaje, específicamente en la fase de aprendizaje rápido.

Se han reportado diferencias significativas en la curva de aprendizaje en ambas fases: rápida y lenta comparando a sujetos sanos con sujetos con alguna lesión en el estriado o el cerebelo (Laforce y Doyon, 2001), pero estos estudios no relacionan al aprendizaje motor con algún tipo de variación circadiana. La aportación de este estudio es que no es lo mismo aprender una habilidad motora compleja en la mañana que en la noche. Los resultados sugieren que convendría adquirirse una habilidad motora en la mañana, debido a que hay un menor costo de aprendizaje, es decir, en la noche se

termina la adquisición de la tarea más fatigado que en la mañana y se inicia la tarea con mayor número de errores y tiempo de dibujo.

Una potencial explicación de porqué el grupo de entrenamiento vespertino reportó una mayor sensación subjetiva de fatiga, podría deberse a la fluctuación de algunas variables fisiológicas que intervienen en mecanismos de alertamiento en los organismos (Koukari y Sothorn, 2006). Por ejemplo, algunas variaciones endógenas como el cortisol y el BDNF aumentan entre las primeras horas de la mañana, alcanzando su zenit a las 8:00 horas (Selmaoui y Touitou, 2003); estos correlatos fisiológicos se encuentran estrechamente ligados en la preparación del organismo para responder a las demandas del ambiente, así como también permiten favorecer y mantener procesos cognitivos como el aprendizaje y la memoria, respectivamente. Por el contrario, el Grupo de entrenamiento Vespertino mostró más fatiga después del entrenamiento y menos eficiencia en el primero ensayo, debido a que es justamente por la noche (fase de oscuridad) cuando estas variaciones fisiológicas, incluyendo la temperatura, disminuyen llegando a su nadir a las 24 hrs. Una limitación del presente estudio es que no se hizo la medición de estos correlatos fisiológicos.

Los resultados también muestran que la habilidad motora fue adquirida entre el sexto y el décimo ensayo, porque es partir de aquí donde la curva de aprendizaje llega a su asíntota. Otra de las aportaciones de nuestro estudio fue que describimos que son suficientes 10 ensayos para alcanzar la asíntota en la curva de aprendizaje.

Previamente se ha demostrado que las variaciones diurnas no tienen un efecto sobre el aprendizaje de una habilidad motora simple (Robertson y cols. 2005), sin embargo, no es claro como las variaciones diurnas podían afectar la adquisición de

una habilidad motora compleja, de ahí la importancia al presente estudio que da respuesta a esta pregunta.

La mayoría de las investigaciones evalúan los efectos de variaciones circadianas (24 horas o más) sobre procesos cognitivos, recurriendo a la privación de sueño de los participantes, factor que puede afectar su ejecución (Williamson y Friswell, 2011), sin embargo en este estudio controlamos esta variable, limitándonos a evaluar en dos puntos en un periodo de 12 horas.

Limitaciones y sugerencias

Una limitación del presente estudio es que solo realizamos dos mediciones sobre un ciclo diurno de 12 horas, quizá sea conveniente tener más puntos de medición para caracterizar mejor los cambios en la ejecución de la tarea.

Otra limitación, es la falta de registro de una tarea control equivalente a la tarea experimental, que permita constatar que las diferencias significativas en el primer ensayo de entrenamiento de la habilidad motora entre ambos grupos de entrenamiento, se deben al momento del día en que aprendieron y no a problemas o diferencias en el control motor.

Por otro lado, aunque no fue objetivo de esta investigación abordar las diferencias entre sexos en el aprendizaje de una habilidad motora, también es cierto que analizamos los resultados de esta fase con el fin de detectar diferencias entre hombres y mujeres; el grupo de mujeres que entrenó la tarea por la noche tuvieron mayor número de errores y tiempo de dibujo que las mujeres del grupo de entrenamiento matutino, y que los hombres de ambos grupos de entrenamiento, una posible explicación es que estas diferencias se deban a variaciones en el ciclo

hormonal. Por ello, se recomienda tomar en cuenta la fase del ciclo hormonal para futuros estudios.

Nuestros resultados hacen una importante contribución a la ciencia, porque indican el efecto que tienen las variaciones diurnas medidas durante 12 horas sobre el aprendizaje de habilidades motoras complejas, tema que hasta ahora resulta poco estudiado y abordado en la literatura. Sin embargo, sería conveniente evaluar la tarea tomando en cuenta 24 horas, y controlar las actividades que realicen los participantes durante la sesión experimental, para controlar potenciales efectos de fatiga. También sería conveniente valernos de alguna medida fisiológica (p. ej. el cortisol o la temperatura), que nos permita confirmar la fase circadiana en la que se encuentra el participante. Aunado a esto, el uso de alguna técnica de imagenología o electrofisiología, con el fin de observar qué cambios ocurren en las estructuras cerebrales involucradas durante la ejecución de la tarea, en función de la fase circadiana de los participantes y la fase de aprendizaje (rápido y lento). Estos cambios adicionales aportarían más elementos para discutir los hallazgos hasta ahora encontrados, contribuyendo con esto a un mejor entendimiento sobre el tema.

7 Conclusiones

Si existe diferencia en la eficiencia para aprender una habilidad motora compleja al comparar la ejecución a las 8 y 20 horas, pero está solo se verá reflejada en la fase de aprendizaje rápido motor.

El aprendizaje rápido de una habilidad motora compleja es más sensible a las variaciones diurnas que el aprendizaje lento. Aunque todos los sujetos aprendieron la tarea al finalizar el entrenamiento, independientemente del horario en que entrenaron.

Entrenar una tarea de habilidad motora compleja por la noche resulta más fatigante que si se entrena por la mañana y menos eficiente.

El control motor no difiere a las 8 que a las 20 horas en tareas de habilidad motora, ya que el tiempo de reacción de una tarea motora simple (de tipo estímulo-respuesta) es igual en estos dos puntos.

El nivel de fatiga, el número de horas dormidas y la hora de exposición a la luz no influyen en la adquisición de una tarea de habilidad motora compleja.

La adquisición de la tarea del dibujo a través del espejo, solo requiere de 10 ensayos para llegar a la asíntota en la curva de aprendizaje

Las mujeres del grupo de entrenamiento vespertino tuvieron significativamente menor eficiencia en la adquisición de la tarea de habilidad motora compleja que las mujeres que entrenaron por la mañana y los hombres de ambos grupos. Es posible que la variable variaciones del ciclo menstrual interactúe con la hora de entrenamiento, pero esto es una pregunta que quedará pendiente para futuras investigaciones.

8 Referencias

Abrahamson, E., Moore, R. (2001). Suprachiasmatic nucleus in the mouse: retinal innervation, intrinsic organization and efferent projections. *Brain Research*. 916 (1-2): 172-191.

Adan, A., Almirall E. (1990). Estandarización de una escala reducida de matutinidad en población española: diferencias individuales. *Psicothema*. 2 (2): 137-149.

Aguado-Aguilar, L. (2001). Aprendizaje y Memoria. *Revista de Neurología*. 32 (4): 373-381.

Aguilar-Roblero, R. (1993). Teorías básicas de los ritmos biológicos. *Psiquis*. 6 (2): 121-132.

Aguilar-Roblero, R., Alamilla, J., Mercado, C., Carmona-Alcocer, V., Colwell, Ch. (2008). Neuronal activity in the suprachiasmatic nuclei: cellular and molecular mechanisms. En Fanjul-Moles, M., Aguilar-Roblero, R. (Eds). *Comparative Aspects of Circadian Rhythms*. Transworld Research Network, India, pp. 185-203.

Aguilar-Roblero, R., Granados-Fuentes, D., Caldelas, I., Salazar-Juárez, A., Escobar, C. (2007). Bases Neurales de la Cronobiología Humana: El Sistema Circadiano Distribuido. En Golombek, D. (Comp.) *Cronobiología Humana, Ritmos y Relojes Biológicos en la Salud y en la Enfermedad*. Argentina, Edit. Universidad Nacional de Quilmes.

Aguilar-Roblero, R., Guadarrama, P., Mercado, C., Chávez, J. (2004a). El núcleo supraquiasmático y la glándula pineal en la regulación de los ritmos circadianos en roedores. En Velázquez-Moctezuma, J. (Ed.). *Temas Selectos de Neurociencias III*. UAM, México, pp. 321-329.

Aguilar-Roblero, R., Mercado, C., Guadarrama, P., Chávez, J. (2004b). Aspectos celulares y moleculares del núcleo supraquiasmático. En Hernández, M., Ortega, A. (Eds). *Fisiología celular y molecular: principios y conceptos*. Universidad Veracruzana, pp. 181-192.

Aguilar-Roblero, R., Morin, L., Moore, R. (1994). Morphological correlatos of circadian rhythm restoration induced by transplantation of the suprachiasmatic nucleus in hamsters. *Experimental Neurology*. 130 (2): 250-260.

Albrecht, U., Sun, Z., Eichele, G., Lee, C., A differential response of two putative mammalian circadian regulators, mper1 and mper2, to light. *Cell*. 91: 1055-1064.

Begliomini, S., Lenzi, E., Ninni, F., Casarosa, E., Merlini, S., Pluchino, N., Valentino, V., Luisi, S., Luisi, M., Genazzani, A. (2008). Plasma brain derived neurotrophic factor daily variations in men: correlation with cortisol circadian rhythm. *Journal of Endocrinology*. 197:429-435.

Cajochen, C. Knoblauch, V., Wirz-Justice, A., Krauchi, K., Graw, P., Wallach, D. (2004). Circadian modulation of sequence learning under high and low sleep pressure conditions. *Behavioural Brain Research*. 151: 167-176.

Carlson, N. (2010). *Fundamentos de Fisiología de la Conducta*. 10ª Edición. Madrid. Prentice Hall.

Chaudhury, D., Colwell, C. (2002). Circadian modulation of learning and memory in fear-conditioned mice. *Behavioral Brain Research*. 133: 95-108.

Corkin, S., Amaral, D., González, G., Jonson, K., Hyman, B. (1997). H. M. Medial Temporal Lobe Lesion: Findings from Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Neuroscience*. 17 (10): 3964-3979.

DeLong, M. (2000). The Basal Ganglia. En Kandel, J., Schwartz, T, Jessell. *Principles of Neuroscience*. 4ª Edición. Nueva York. McGraw Hill. pp.864-867.

Doyon, J., Gaudreau, D., Laforce, R., Castonguay, M., Bédard, P., Bouchard, J. (1997). Role of the striatum, cerebellum, and frontal lobes in the learning of a visuomotor sequence. *Brain and Cognition*. 34 (2): 218-245.

Doyon, J., Laforce R., Bouchard, G., Gaudreau, D., Roy, J., Poirier, M., Bedard, F., Bouchard, J. (1998). Role of the striatum, cerebellum and frontal lobes in the automatization of a repeated visuomotor sequence of movements. *Neuropsychologia*. 7 (36): 625-641.

Doyon, J., Penhune, V., Ungerleider, L. (2003). Distinct contribution of the cortico-striatal and cortico-cerebellar systems to motor skill learning. *Neuropsychologia*. 41: 252-262.

Drucker-Colín, R., Aguilar-Roblero, R., García-Hernández, F., Fernández-Cancino, F., Bermudez-Rattoni, F. (1984). Fetal suprachiasmatic nucleus transplants: diurnal rhythm recovery of lesioned rats. *Brain Research*. 311 (2): 353-357.

Esseveldt, L., Lehman, M., Boer, G. (2000). The Suprachiasmatic nucleus and the circadian time-keeping system revisited. *Brain Research Reviews*. 33: 34-77.

Estévez-González, A., García-Sánchez, C., Barraquer-Bordas LI. (1997). La memoria y el aprendizaje: experiencia' y 'habilidad' en el cerebro. *Revista de Neurología*. 25(148): 1976-1988.

Georgopoulos, A. (2000). Neural aspects of cognitive motor control. *Current Opinion on Neurobiology*. 10: 238-241.

Georgopoulos, A., Kalaska, J., Massey, J. (1981). Spatial Trajectories and Reaction Times of Aimed Movements: Effects of Practice, Uncertainty, and Change in Target Location. *Journal of Neurophysiology*. 4 (46): 725-743.

Ghez, C., Krakauer, J. (2000). The Organization of Movement. En Kandel,, J, Schwartz, , T, Jessell. *Principles of Neuroscience*.4ª Edición. Nueva York. McGraw Hill.pp.560-580.

Gruart, A., Delgado, J., Escobar, C., Aguilar-Robledo, R. (2002). *Los relojes que gobiernan la vida*. 1º Edición. México. Fondo de Cultura Económica.

Hilgard, E., Bower, G. (1975). *Theories of learning*. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall.

Jueptner, M., Weiller, C. (1998). A review of differences between basal ganglia and cerebellar control of movements as revealed by functional imaging studies. *Brain*. 121: 1437-1449.

Kandel, E., Kupfermann, I., Iversen, S. (2000). Learning and Memory. En E, Kandel; J, Schwartz; T, Jessell. *Principles of Neuroscience*.4ª Edición. Nueva York. McGraw Hill.pp.1227-1245.

Kandel, E., Schwartz, J., Jessell, T. (1997). *Neurociencia y Conducta*. España.Prentice Hall.

Karni, A. (1996). The acquisition of perceptual and motor skills: a memory system in the adult human cortex. *Cognitive Brain Research*. 5: 39-48.

Karni, A., Meyer, G., Jezzard, P., Adams, M., Turner, R. y Ungerleider, L. (1995).Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning..*Nature*. 377: 155-158.

Karni, A., Meyer, G., Rey-Hipolito, C., Jezzard, P., Adams, M., Turner, R., Ungerleider, L. (1998). The acquisition of skilled motor performance: Fast and slow experience-driven changes in primary motor cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. (95): 861-868.

Kennedy, K., Raz, N. (2005). Age, sex and regional brain volumes predict perceptual-motor skill acquisition. *Cortex*. 41:560-569.

Kleitman, N. (1933). Diurnal Variation in performance. *Studies on the physiology of sleep VIII*. 449-456.

Kleitman, N., Titelbaum, S., Feiveson, P. (1937). The effect of body temperature on reaction time. 495-501.

Kolbeck, R., Bartke, I., Eberle, W., Barde, Y. (1999). Brain-Derived Neurotrophic Factor Levels in the Nervous System of Wild-Type and Neurotrophin Gene Mutant Mice. *Journal of Neurochemistry*. 72: 1930-1938.

Koukkari, W., Sothman, R. (2006). *Introducing biological rhythms*. New York: Springer Ciencia.

Laforce, R., Doyon, J. (2001). Distinct contributions of the striatum and cerebellum to motor learning. *Brain and Cognition*. 45: 189-211.

Marek, T., Fafrowicz, M., Golonka, K., Mojsa-Kaja, J., Oginska, H., Tucholska, K., Urbanik, A., Beldzik, E. y Domagalik, A. (2010). Diurnal Patterns of Activity of the Orienting and Executive Attention Neuronal Networks in Subjects Performing a Stroop-Like Task: a Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *Chronobiology International*, 27 (5): 945-958.

McDonald R., White, N. (1993). A triple Dissociation of Memory Systems: Hippocampus, Amygdala and Dorsal Striatum. *Behavioral Neuroscience*: 1 (107): 3-22.

Middleton, F., Strick, P. (1997). Cerebellar output channels. *International Review of Neurobiology*. 41: 61-82.

Milner, B., Squire, L., Kandel, E. (1998). Cognitive Neuroscience and the study of memory. *Neuron*. (20): 445-468.

Mintz, E., Marvel, C., Price, K., Albers, H. (1999). Activation of NMDA receptors in the suprachiasmatic nucleus produces light-like phase shifts of the circadian clock *in vitro*. *Journal of Neuroscience*. 15: 5124-5130.

Morgado-Bernal, I. (2005). Psicobiología del Aprendizaje y la Memoria. *Cuadernos de Información y Comunicación*. (10): 221-233.

Murillo-Rodríguez, E., Desarnaud, F., Prospéro-García, O. (2006). Diurnal variation of arachidonylethanolamine, palmitoylethanolamide and oleoylethanolamide in the brain of the rat. *Life Sciences*. 79: 30-37.

Newman (1991). SCN metabolic activity in vitro. En Klein, D., Moore, R., Reepert, S., (Eds). *Suprachiasmatic nucleus*. The Mind's Clock. New York, Oxford University Press, pp. 157-176.

Packard, M., Hirsh, R., White, N. (1989). Differential Effects of Fornix and Caudate Nucleus Lesions on Two Radial Maze Tasks: Evidence for Multiple Memory Systems. *The Journal of Neuroscience*. 9 (5): 1465-1472.

Picard, N., Strick, P. (1996). Motor areas of the medial wall: review of their location and functional activation. *Cerebral Cortex*. 6: 342-353.

Perkel, D., Farries, M. (2000). Complementary bottom-up and top down approaches to basal ganglia function. *Current Opinion in Neurobiology*. 10: 725-731.

Pinel, J. (2001). *Biopsicología*. 4º Edición. Madrid. Pearson Education

Pinel, J. (2007). *Biopsicología*. 6º Edición. Madrid. Pearson Education.

Ravizza, S., Ivry, R. (2001). Comparison of the Basal Ganglia and Cerebellum in Shifting Attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 13 (3): 285-297.

Raz, N., Williamson, A., Gunning-Dixon, F., Head, D., Acker, J. (2000). Neuroanatomical and cognitive correlates of adult age differences in acquisition of a perceptual-motor skill. *Microscopy Research and Technique: A Special Issue of Neuroimaging and Memory*. 51: 85-93.

Reppert, S., Sauman, I. (1995). Period and timeless tango: A dance of two clock genes. *Neuron*. 15: 983-986.

Robertson, E., Press, D. y Pascual-Leone, A. (2005). Off-Line Learning and the Primary Motor Cortex. *The Journal of Neuroscience*. 25(27):6372-6378.

Rueda-Orozco, P., Montes-Rodríguez, C., Soria-Gómez, E., Herrera-Solis, A., Guzmán, K., Prospéro-García, A., Ruiz-Contreras, A., Prospéro-García, O. (2006). Dependencia de los sistemas de memoria al ciclo luz-oscuridad en la expresión de estrategias adaptativas, primera parte. *Salud Mental*. 004 (29): 18-24.

Rueda-Orozco, P., Montes-Rodríguez, C., Soria-Gómez, E., Méndez-Díaz, M., Prospéro-García, O. (2008a). Impairment of endocannabinoids activity in the dorsolateral striatum delays extinction of behavior in a procedural memory task in rats. *Neuropharmacology*. 55: 52-62.

Rueda-Orozco, P., Soria-Gómez, E., Montes-Rodríguez, C., Martínez-Vargas, M., Galicia, O., Navarro, L., Prospéro-García, O. (2008b). A potencial function of endocannabinoids in the selection of a navigation strategy by rats. *Psychopharmacology*. 198: 565-576.

Scales, W., Vander, A., Brown, M., Kluger, M. (1988). Human Circadian rhythms in temperatura, trace metals, and blood variables. *American Physiological Society*. 1840-1846.

Schmidt, C., Collete, F., Cajochen, C., Peigneux, P. (2007). A time to think: Circadian rhythms in human cognition. *Cognitive Neuropsychology*. 24 (7): 755-789.

Schwartz, W. (1991). SCN metabolic activity in vivo. En Klein, D., Moore, R., Reepert, S., (Eds). *Suprachiasmatic nucleus*. The Mind's Clock. New York, Oxford University Press, pp. 144-156.

Seger, C. (2006). The Basal Ganglia in Human Learning. *The Neuroscientist*. 4(12): 285-290.

Selmaoui, B., Touitou, Y. (2003). Reproducibility of the circadian rhythms of serum cortisol and melatonin in healthy subjects: a study of three different 24-h cycles over six weeks. *Life Sciences*. 73 (26): 3339-3349.

Scoville, W., Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*. 20(11): 11-21.

Squire, L. (2009). Memory and Brain Systems. *Journal of Neurosciencie*. 29(41): 12711-12716.

Squire, L., Stark, C., Clark, R. (2004). The medial temporal lobe. *Annual Review Neuroscience*. 27:279-306.

Squire, L., Zola-Morgan, S. (1996). Structure and function of declarative and nondeclarative memory systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. (93): 13515-13588.

Ungerleider, L., Doyon, J., Karni, A. (2002). Imaging Brain Plasticity during Motor Skill Learning. *Neurobiology of Learning and Memory*. 78: 553-564.

Valdez-Ramírez, P., Ramírez-Tule, C., García-García, A., Talamantes-López, J. (2009). Ritmos Circadianos en la eficiencia para responder en una prueba de ejecución continúa. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*. 1 (35): 75-91.

- Valdez-Ramírez, P., Ramírez-Tule, C., García, A., Talamantes-López, J., Cortez, J. (2010). Circadian and homeostatic variation in sustained attention. *Chronobiology International Journal*.27 (2): 393-416.
- Valenti, M., Viganó, D., Cascio, M., Rubino, T., Steardo, L., Parolaro, D., Di Marzo, V. (2004). Differential diurnal variations of anandamide and 2-arachidonoyl-glycerol levels in rat brain. *Cellular and Molecular Life Sciences*. (61): 945-950.
- Walker, M., Brakefield, T., Morgan, A., Hobson, J., Stickgold, R. (2002). Practice with Sleep Makes Perfect: Sleep-Dependent Motor Skill Learning. *Neuron*. (35): 205-211.
- Welsh, D., Logothetis, D., Meister, M., Reppert, S. (1995). Individual neurons dissociated from rat suprachiasmatic nucleus express independently phase circadian firing rhythms. *Neuron*. (4): 697-706.
- White, N., McDonald R. (2002). Multiple Parallel Memory Systems in the Brain of the Rat. *Neurobiology of Learning and Memory*. (77): 125-184.
- Williamson, A., Friswell, R. (2011). Investigating the relative effects of sleep deprivation and time of day on fatigue and performance. *Accident Analysis and Prevention*. 43: 690-697.
- Willingham, D. (1998). A neuropsychological theory of motor skill learning. *Psychology Review*. 105: 558-584
- Zylka, M., Shearman, L., Levine, J., Jin, X., Weaver, D., Reppert, S. (1998). Molecular analysis of mammalian timeless. *Neuron*. 21: 1115-1122.