



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO  
EN PSICOLOGÍA

NEUROCIENCIAS DE LA CONDUCTA

EFFECTOS DE LA PRIVACIÓN SELECTIVA DE SUEÑO MOR SOBRE LA  
ACTIVIDAD METABÓLICA CEREBRAL EN TAREAS EJECUTIVAS Y  
EMOCIONALES

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE DOCTORA EN PSICOLOGÍA  
PRESENTA:

ALEJANDRA ROSALES LAGARDE

JURADO DE EXAMEN DE GRADO  
TUTORA: DRA. MARÍA CORSI CABRERA

COMITÉ:

DRA. THALÍA HARMONY

DRA. MATILDE VALENCIA

DR. JOSÉ LUIS DÍAZ GÓMEZ

DRA. JULIETA RAMOS LOYO



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.

Los experimentos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Sueño de la Facultad de Psicología en la Ciudad Universitari de la Universidad Nacional Autónoma de México y en el Hospital Ángeles del Pedregal en el Módulo de Neuroimagen y Cognición.

La investigación fue financiada por el CONACYT proyecto número 50709 y por la DGAPA, Universidad Nacional Autónoma de México, con el proyecto número IN-209406-2. Recibí una beca de doctorado por parte del CONACYT y apoyo de parte del Programa de Fomento a la Graduación de la Coordinación de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México.

*Dedico esta tesis*

A Harim, mi amor, siempre conmigo.

A Sarita, mi niña de 7 años. Gracias por tu paciencia y ayuda. Contigo aprendo a ser mamá y psicóloga. A mi bebé en camino.

A mis padres, Laura y Miguel, por su esfuerzo y por estar siempre presentes en los momentos más difíciles.

A mis hermanos en el extranjero: A Toñis, amante de la exploración, con un pie aquí y otro en Estados Unidos.

A David, el mexicano-alemán jefe de alemanes, a Bruna su esposa, a mis sobrinitos Laurita y Carlitos;

a Miguel ¡¿LIBRE?!

A mi familia política: Sra. Alicia, Sr. Manlio, Ismari, Karime, Fabi, Manlio, Yadira, Ismarita e Itai. Gracias por el cuidado de Sarita y su pan.

*Agradezco*

A los participantes en el experimento.

A Mari. Me mostraste de forma amable y paso a paso cómo la teoría es la mejor guía para asir la realidad, organizar el análisis y plasmar los resultados.

A mis sinodales, en especial a la Dra. Thalía Harmony Baillet, siempre atenta a mi formación y a la Dra. Matilde Valencia Flores, por su disposición y sus comentarios.

A la Dra. Martha Escobar, al Dr. José Luis Díaz, a la Dra. Julieta Ramos y a la Dra. Dolores Rodríguez por su paciencia y comentarios.

A los compañeros del equipo del Laboratorio de sueño de la Facultad de Psicología: Yola, Zeidy, Pedro, Jorge, Alfonso y Enrique. Gracias por su gran cariño, solidaridad, apoyo y enseñanzas. A las nuevas integrantes: Sara, Josefina, Itzel, Jacqueline y Berelín.

La colaboración del Mtro. David Trejo Martínez, el Dr. Rubén Conde y el Dr. Jorge Armony por su apoyo en la obtención de los datos y el análisis de la RMf

A Yola, Jorge, Zeidy de nuevo y al Señor Fernando Jiménez por su ayuda en los registros.

Al Ingeniero Fernando Sandoval por su ayuda técnica en la sincronización del *e-prime* con la computadora de registro y al Ingeniero Miguel Rosales Lagarde por la programación de la tarea de clasificación de tarjetas de Wisconsin en el *e-prime*.

A la Licenciada Lucy Peña por su atinada conducción de los servicios escolares y a la Coordinación de Posgrado por su apoyo en los trámites administrativos.

*Si regalas un pan, te queda la mitad.  
Si regalas conocimiento, queda el doble*

*El ser inteligente plasma, materializa, cristaliza todo su esfuerzo*

*La adopción universal de una actitud científica...daría más vida al amor de la verdad, a la disposición a reconocer el propio error, a buscar la perfección y a comprender la imperfección inevitable...nos animaría a sostener una visión realista de la vida humana... robustecería nuestra confianza en la experiencia guiada por la razón, y nuestra confianza en la razón contrastada por la experiencia; nos estimularía a planear y controlar mejor la acción...*

Mario Bunge

*Para el trabajo científico –incluso para el trabajo artístico- la actividad puramente creativa se halla unida de modo indisoluble con un trabajo duro, regular, sistemático, con esfuerzos constantes y de larga duración... 10% de inspiración y 90% de transpiración.*

Ezequiel Ander-Egg basado en Gino Germani

*I can't fight this feeling any longer*

Air Supply

## RESUMEN

Las funciones ejecutivas dependen de la corteza prefrontal, la cual se desactiva metabólicamente y se desacopla de áreas posteriores de asociación durante el sueño con movimientos oculares rápidos (MOR). Durante el sueño MOR también hay un mayor acoplamiento temporal entre hemisferios y una activación del sistema límbico-cortical.

Este patrón de activación/desactivación cerebral del sueño MOR nos condujo a estudiar los efectos de la privación selectiva de sueño MOR sobre funciones ejecutivas tanto cognitivas como emocionales que demandan la participación de los lóbulos frontales.

Con este objetivo se evaluó la ejecución y la actividad metabólica cerebral de funciones cognitivas y emocionales a la misma hora antes y después de la privación selectiva de sueño MOR (durante la tercera noche de polisomnografía en el laboratorio) ( $n = 12$ ) y se comparó con un grupo control sometido al mismo número de despertares en sueño no MOR (NMOR) ( $n = 7$ ) para controlar los efectos inespecíficos de las interrupciones del sueño. Se evaluaron las siguientes funciones: flexibilidad de pensamiento, pensamiento divergente, capacidad para integrar información adquirida de manera independiente el día anterior y la respuesta emocional subjetiva. La capacidad para implementar reglas abstractas arbitrarias y novedosas y para seleccionar respuestas de defensa ante imágenes amenazantes se evaluaron dentro del escáner y se obtuvo la respuesta BOLD.

Los principales resultados del presente trabajo muestran que después de la privación casi total y selectiva de sueño MOR por una noche se deteriora significativamente la capacidad de tomar decisiones, tanto racionales como emocionales, lo mismo que la capacidad de integración y de aplicación novedosa de información adquirida separadamente el día anterior. La toma de decisiones, tanto racionales como emocionales requirió el mismo nivel de activación cerebral que la primera vez que se realizaron las tareas en comparación con el grupo control que mostró desactivaciones. La privación de MOR provocó mayor activación en áreas izquierdas de asociación visual durante la ejecución de las tareas.

Estos resultados sugieren que el sueño MOR es necesario para la restauración de los sistemas ejecutivo y emocional del cerebro, lo cual puede tener implicaciones importantes para una sociedad como la actual que mantiene voluntariamente una deuda de sueño de entre 1 y 2 horas diarias afectando la cantidad de sueño MOR.

## ABSTRACT

Executive functions depend on the activity of the prefrontal cortex and this area undergoes metabolic deactivation and is uncoupled from posterior association areas during Rapid Eye Movement sleep (REMs). During REMs temporal coupling between hemispheres is greater than in wakefulness and there is an activation of the limbic-cortical system. This pattern of cerebral activation/deactivation of REMs justifies the study on the effects of selective REMs deprivation over executive cognitive and emotional functions that require frontal lobe participation.

With this purpose, task performance and metabolic brain activity of cognitive and emotional functions that require the participation of the prefrontal cortex were evaluated at the same time before and after REMs deprivation (the third night of polysomnography at the laboratory) ( $n = 12$ ) and this group was compared with a control group that underwent the same number of awakenings from no REM sleep interruptions (NREMI), ( $n = 7$ ) to control inespecific effects of sleep interruptions. The following functions were evaluated: divergent thinking, capacity to integrate independently acquired information the day before and the subjective emotional response. The capacity to apply new abstract and arbitrary rules and to select defense responses in front of threatening images were evaluated in the scanner where BOLD responses were obtained. After almost total and selective one night REMs deprivation a significant impairment of the capacity to make rational and emotional decisions, as well as the capacity to integrate and apply the novel information acquired apart the day before were noted. Rational and emotional decision making required the same level of cerebral activation that the first time the tasks were performed in contrast with the control group that showed deactivations. Major activations in the left visual association areas during the performance of tasks were observed after REMs deprivation.

These findings suggest that REMs is needed for the restoration of executive and emotional brain systems, and its deficit may affect the present-day people that willingly deprive themselves of one or two sleeping hours, thus affecting REMs quantity.

## ÍNDICE

### I. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

Características generales del sueño MOR	9
El sueño MOR propicia el paso de la información entre redes funcionales	9
El sueño MOR y las funciones cognitivas	10
Papel del sueño MOR en la regulación de la excitabilidad neuronal	14
El sueño MOR participa en la modulación emocional. Control ejecutivo-prefrontal y la emoción	15

### INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema	19
Justificación de la investigación	20
Objetivos	20
Hipótesis	21

### II. MÉTODO

Sujetos	24
Procedimiento	24
<i>Polisomnografía</i>	25
<i>Técnica de privación de sueño MOR y de interrupciones en NMOR</i>	26
<i>Variables evaluadas</i>	28
A) Funciones ejecutivas	28
B) Reactividad emocional	30
<i>Procedimiento de aplicación de las tareas</i>	31
<i>Escaneo y análisis de la actividad metabólica</i>	32
<i>Análisis estadísticos</i>	33

### III. RESULTADOS

<i>Características de la muestra</i>	35
<i>Número y distribución de los despertares experimentales a lo largo de la noche</i>	35
<i>Polisomnografía</i>	37
A) Funciones ejecutivas	40
a) <i>Tarea de Integración Novedosa de Secuencias Lógicas (TAINSEL)</i>	40
b) <i>Tarea de Atención Sostenida Visual (TASVI)</i>	43
c) <i>Tarea de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin (WCST)</i>	44
d) <i>Tarea de Fluidez Verbal (FAS)</i>	45
e) <i>Tarea de Respuestas Guiadas por Reglas Arbitrarias Abstractas (TRERA)</i>	
Resultados conductuales	46
Activación metabólica cerebral	50



B) Reactividad emocional	55
f) <i>Tarea de Respuestas defensivas (TRED)</i>	
Resultados conductuales	55
Actividad metabólica cerebral ante la toma de decisiones emocional	57
Actividad metabólica cerebral ante la toma de decisiones de disparar	61
g) <i>Tarea de Evaluación Subjetiva de la Emoción (TESE)</i>	63
<b>DISCUSIÓN</b>	65
<b>CONCLUSIÓN</b>	73
<b>IV. REFERENCIAS</b>	74
<b>V. ANEXOS</b>	
a) <i>Tarea de Integración Novedosa de Secuencias Lógicas (TAINSEL)</i>	86
b) <i>Tarea de Atención Sostenida Visual (TASVI)</i>	91
c) <i>Tarea de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin (WCST)</i>	92
d) <i>Tarea de Fluidez Verbal (FAS)</i>	93
e) <i>Tarea de Respuestas guiadas por Reglas Arbitrarias (TRERA)</i>	94
f) <i>Tarea de Respuestas Defensivas (TRED)</i>	96
g) <i>Tarea de Evaluación Subjetiva de la Emoción (TESE)</i>	98

## **I. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO**

### **Características generales del sueño MOR**

El sueño de movimientos oculares rápidos (MOR) o sueño paradójico es un estado fisiológico único. Durante el sueño MOR el cerebro es activado endógenamente (Jouvet, 1962), hay un bloqueo de las entradas sensoriales (Price y Kremen, 1980) y de la salida motora (Jouvet, 1959) y en él suceden en mayor proporción las ensoñaciones (Foulkes, 1962). El electroencefalograma (EEG) durante el sueño MOR es semejante al de la vigilia alerta, con abundancia de frecuencias beta y gamma tanto en gatos (Steriade y McCarley, 1990), en ratas (Franken et al., 1994) como en humanos en registros de superficie (Llinás y Ribary, 1993; Corsi-Cabrera et al., 2006). Hay una pérdida súbita en el voltaje del electromiograma al entrar al sueño MOR que ocurre en un intervalo menor de 2 segundos (Rosales-Lagarde et al., 2009) y aparecen movimientos oculares rápidos episódicos (Aserinsky y Kleitman, 1953; Rechtschaffen y Kales, 1968).

### **El sueño MOR propicia el paso de la información entre redes funcionales**

Numerosos estudios indican que durante el sueño MOR hay una sincronización de redes cortico-corticales y tálamo-corticales en frecuencias rápidas restringida espacialmente a sistemas bien definidos en términos de conectividad y significado funcional a diferencia de la sincronización generalizada en frecuencias bajas tanto en gatos (Steriade et al., 1996), como en humanos. De manera más específica, la red tálamo-cortical en gatos presenta un modo tónico de disparos y el número de disparos neuronales se incrementa tanto en la corteza como en el tálamo de manera sincronizada (Steriade y McCarley, 1990; Steriade y Amzica, 1996; Steriade, 1999). Durante el sueño MOR, a comparación de la vigilia en el humano, aumenta el acoplamiento temporal entre regiones homólogas de los dos hemisferios cerebrales (Corsi-Cabrera et al., 1987; Corsi-Cabrera et al., 1989), y entre regiones posteriores (Pérez-Garci et al., 2001; Corsi-Cabrera et al., 2003). Esta sincronización facilita las relaciones funcionales y la transmisión de información entre regiones cerebrales.

Las espigas ponto-geniculo-occipitales (PGO) son fenómenos fásicos registrados en el gato (Jouvet y Michel, 1959) que indican mecanismos

activadores sincronizadores inmediatamente antes y durante el sueño MOR ya que van usualmente seguidas de movimientos oculares rápidos y de un incremento adicional en la activación cerebral, específicamente de las oscilaciones rápidas (30-40 Hz) (Amzica y Steriade, 1996; Steriade, 1999). La activación se origina en el puente y se propaga a diversas estructuras por medio de las espigas PGO al núcleo geniculado lateral, a toda la corteza incluyendo a la corteza occipital (Steriade et al., 1996b), y al sistema límbico y paralímbico, hipocampo, amígdala y cíngulo (Calvo y Fernández Guardiola, 1984).

La estimulación eléctrica de la amígdala aumenta el número de PGO (Calvo et al., 1987), así como la inyección de carbacol, agonista de la acetilcolina, en el núcleo central amigdalino, los periodos de la transición al MOR y los episodios de sueño MOR a largo plazo (Simón-Arceo y Calvo, 1997) al igual que los movimientos oculares (Calvo et al., 1996).

Sin embargo, aunque no se hayan registrado las espigas PGO en el humano, este incremento de activación fásica en estructuras límbicas y paralímbicas y en la corteza también se observa. Los movimientos oculares rápidos del MOR van precedidos por un aumento de la activación en la corteza orbitofrontal, amígdala e hipocampo (Ioannides et al., 2004), así como de un incremento de gamma en la corteza y un aumento del acoplamiento temporal entre la región frontal derecha y la línea media, indicativa de la sincronización de una red atencional interna (Corsi-Cabrera et al., 2008).

### **El sueño MOR y las funciones cognitivas**

Las características descritas del sueño MOR condujeron desde el inicio a asociar esta etapa de sueño con funciones cognitivas tales como la memoria (Moruzzi, 1963; citado en Corsi, 1983). En la década de 1970 y 1980, se demostró que el sueño MOR juega un papel en la consolidación de la memoria en la rata y el ratón (Lucero, 1970; Leconte y Hennevin, 1971, 1972; Fishbein, 1971; Fishbein, 1977; Pearlman, 1971; 1973; Pearlman y Greenberg, 1973; Pearlman y Becker, 1974a; Pearlman y Becker, 1974b; Smith et al., 1974). La potenciación a largo plazo (LTP) sólo ocurre durante la vigilia y el sueño MOR, y dependiendo de la fase de la actividad theta del hipocampo, la LTP puede favorecerse o suprimirse (Pavlidis et al., 1988). Tanto el ritmo theta como las

PGO están en fase y sus generadores reciben una activación común (Karashima et al., 2002).

Si se hace un análisis de las tareas que se afectan o se mejoran con el sueño MOR, así como de las que empeoran con su privación, se plantea que las tareas que se afectan requieren de integración compleja de información (Pearlman, 1971; véase McGrath y Cohen, 1978; Corsi, 1983) y no las que demandan únicamente la consolidación de un evento simple, lo cual es lógico si se considera el peligro que representaría en una especie el que la consolidación de todos los eventos dependiera del sueño MOR. De esta forma Gaarder (1966), Newman y Evans (1965) y Crick y Mitchison (1983), proponen que el sueño MOR cumple una función de asimilar la información diaria de rutina e incorporar, desechar o modificar las formas típicas de comportamiento. La hipótesis de la incorporación de información inusual o de tareas no preparadas durante el sueño MOR (Seligman, 1970; Dewan, 1969, citado en McGrath y Cohen, 1978) ha ayudado a explicar los resultados contradictorios encontrados en los estudios de la privación de sueño MOR. En consecuencia, encontrar o no efectos de la privación de sueño MOR sobre la memoria y el aprendizaje depende del grado de complejidad, novedad y requerimientos de integración de información de la tarea en cuestión.

En muchos estudios con animales se ha observado un incremento del sueño MOR aunado al éxito en tareas complejas que requieren secuencias alternadas de acontecimientos como en laberintos donde el animal debe discriminar entre múltiples opciones y series de secuencias (Lucero, 1970; Louie y Wilson, 2001; Fishbein, 1971). En la tarea de dos vías de evitación condicionada se observa un aumento en el número de episodios de sueño MOR y dicho aumento persiste durante el tiempo en que se adquiere un buen nivel de ejecución, pudiendo persistir a lo largo de días (Smith et al., 1974; Smith et al., 1980), en tanto que el incremento se anula cuando se alcanza el criterio de aprendizaje (Leconte y Hennevin, 1972). También en una tarea de evitación pasiva se han observado efectos de la privación de sueño MOR sobre la memoria a largo plazo (Fishbein, 1971) aunque a este respecto no hay un acuerdo todavía (Jian et al., 2003). También se ha encontrado la reactivación en el sueño MOR de patrones de actividad neuronal semejantes a los que acompañan una tarea compleja en vigilia (Louie y Wilson, 2001).

Si se priva de sueño MOR después de la sesión de adquisición, se afecta la ejecución de tareas que requieren la integración de dos aprendizajes (Pearlman, 1971), así como la extinción de una conducta pre-aprendida de apretar la palanca para obtener un reforzador (Pearlman, 1974a), y la extinción latente en ratas (Pearlman, 1973; Pearlman y Greenberg, 1973). Es posible revertir los efectos de la privación de MOR por medio de la estimulación amigdalina (Smith y Young, 1980) o la inyección de carbacol en el puente (Datta et al., 2004) así como pronosticar el éxito en la retención de la tarea por la densidad de las PGO (Datta et al., 2004).

En humanos también se encuentran asociaciones estrechas entre el sueño MOR y la actividad de la vigilia previa. Hay un aumento de los periodos de sueño MOR y de la densidad de los movimientos oculares con el aprendizaje escolar intensivo (Smith y Lapp, 1991). Después del aprendizaje del código Morse se observan aumentos en la duración y en el número de episodios de sueño MOR (Mandai et al., 1989). También se ha encontrado que durante el sueño MOR se reactivan estructuras activadas durante la vigilia previa en un aprendizaje de secuencias probabilísticas (Maquet et al., 2000; Peigneux et al., 2003).

La privación de sueño MOR en humanos afecta la ejecución de tareas verbales elaboradas o complejas como la memorización de historias (Tilley y Empson, 1978) y la descripción de trozos de prosa anómala porque disminuye el número de palabras y se distorsionan más (Empson y Clarke, 1970). En cambio, la privación de MOR no afecta a tareas verbales sencillas como la memoria de sílabas sin sentido, los pares de palabras asociadas (Greenberg y Pearlman, 1974), el recuerdo de adjetivos (Chernick, 1972), el recuerdo de dígitos o listas de palabras (Saxvig et al. 2007; Lewin y Glaubman, 1975), así como tampoco el aprendizaje de una lista seriada de trigramas o palabras de tres sílabas (Chernick, 1972).

En cuanto a tareas que involucran conocimientos espaciales o de discriminación de figuras, la privación de MOR no afecta el reconocimiento y tachado de un número (Chernick, 1972). Tampoco provoca cambios en la ejecución de dibujos de figuras complejas, el recuerdo de secuencias de movimientos de cubos (bloques de Corsi), la sustitución de series de números por símbolos, ni afecta una tarea de *priming* (Saxvig et al., 2007). En contraste,

no se encuentra el beneficio de la práctica en nuevos patrones de discriminación perceptual en comparación con patrones aprendidos previamente y en comparación con la interrupción en el sueño de ondas lentas (SOL) (Karni et al., 1994).

Durante el sueño MOR hay un decremento de actividad metabólica en la corteza prefrontal dorsolateral (CPF DL), la corteza prefrontal ventrolateral prefrontal (CPF VL), el cíngulo posterior y el precuneus (Maquet et al., 1996; Braun et al., 1997; Nofzinger et al., 1997). La corteza prefrontal en sus divisiones ventrolaterales y dorsolaterales está involucrada con otras áreas en una red que subyace a las funciones ejecutivas. Tanto estudios neuropsicológicos como fisiológicos han demostrado la relación entre funciones ejecutivas y lóbulos frontales en procesos cognitivos como el lenguaje, la planeación, la preparación para la acción futura, el control voluntario de la atención (véase Luria, 1970/1979); la memoria de trabajo, la evaluación, la toma de decisiones (Guitton y cols. 1985), la inhibición de estímulos y respuestas irrelevantes, la organización secuencial de la información nueva y compleja (Fuster, 1988, 1999; Miller, 1999), el pensamiento divergente, la congruencia con el contexto social y el contraste del modelo con la realidad (Lezak, 1995), así como en la conducta guiada por reglas (Bunge et al., 2008).

Los análisis de la actividad coherente o acoplamiento temporal del EEG muestran un desacoplamiento entre las regiones frontales y las áreas posteriores de asociación durante el sueño MOR, lo que dificultaría la participación propositiva y el juicio lógico en el contenido de las ensoñaciones (Pérez-Garci et al., 2001; Corsi et al., 2003; Corsi et al., 2008).

Por lo tanto, es posible suponer que la privación del sueño MOR afectaría las funciones ejecutivas y vulneraría especialmente tareas complejas (McGrath y Cohen, 1978; Corsi, 1983; Horne y McGrath, 1984) que en vigilia requieren la participación de una red cerebral que incluye las áreas prefrontales. Pocos estudios han investigado la falla en las funciones ejecutivas debidas a la privación de MOR en humanos. Solamente hay un trabajo antiguo sobre pensamiento divergente y creatividad, donde se debían formular usos novedosos para objetos convencionales y el número de palabras evocadas ante una determinada letra (o tarea FAS) en el que se encontró una

disminución en la tarea de creatividad pero no en el número de palabras después de la privación de sueño MOR (Lewin y Glaubman, 1975).

### **Papel del sueño MOR en la regulación de la excitabilidad neuronal**

Además de su papel en tareas cognitivas, también se ha propuesto que el sueño MOR podría estar involucrado en otros procesos fisiológicos tales como la regulación de la excitabilidad cerebral (Corsi et al., 1975; Corsi, 1983).

El umbral para provocar crisis epilépticas así como para generar focos epilépticos mediante el *kindling* amigdalino es más alto durante el sueño MOR en gatos (Calvo, 1991). Con la privación de sueño MOR, hay un aumento en la excitabilidad neuronal de la amígdala (Shouse y Serman, 1983) y de la corteza entorrinal (Satinoff et al., 1968), una disminución del umbral para provocar crisis epilépticas en gatos (Cohen y Dement, 1965) y se facilita el desarrollo del *kindling* amigdalino (Shouse y Serman, 1983). Si hay un aumento de sueño MOR adicional, el umbral de generación de crisis epilépticas es más alto a pesar de la estimulación amigdalina (Kumar y Raju, 2001).

En la vigilia subsecuente a la privación de sueño MOR hay un incremento en la actividad de las células pontinas de encendido de MOR (REM-on cells) y un decremento en la actividad de disparo de las células de apagado del sueño MOR (REM-off cells) (Mallick et al., 1990). Sin embargo, la privación prolongada de MOR aumenta los niveles de noradrenalina en el puente, lo que también incrementa la actividad de la bomba ATPasa de sodio potasio (Mallick et al., 2002) y agranda las células noradrenérgicas del locus coeruleus encargadas del llamado "REM-off" debido al disparo en demasía con respecto a su actividad normal. Con la privación de sueño MOR las neuronas colinérgicas o células "REM-on" del pedúnculo pontino del núcleo dorsal del tegmento (LDT) disminuyen su tamaño (Majmudar y Mallick, 2005). La privación de sueño MOR actúa en los receptores a dopamina D2 en el núcleo accumbens, el núcleo caudado y el putamen, lo cual podría explicar el aumento en las conductas instintivas (Nunes et al., 1994). El acoplamiento temporal entre hemisferios disminuye y hay un aumento en la potencia absoluta de theta, que se sugiere se puede relacionar con un aumento en las conductas motivadas por el instinto; un aumento en la potencia relativa de alfa 1 y una

disminución en delta, lo que confirma un mayor grado de alertamiento con la privación de sueño MOR (Corsi-Cabrera et al., 1994).

El organismo compensa la falta de sueño MOR con un rebote o recuperación (Dement, 1960) y su carencia ocasiona la muerte en la rata entre los 15 y los 54 días (Kushida et al., 1989).

### **El sueño MOR participa en la modulación emocional. Control ejecutivo-prefrontal y la emoción.**

El papel de la corteza prefrontal no se limita al control ejecutivo de procesos lógicos, racionales y cognitivos, sino también emocionales. Los estudios de neuroimagen han mostrado que en vigilia, la capacidad de integrar la información emocional con el procesamiento cognitivo comprende un sistema conformado por las cortezas prefrontales medial y ventrolateral, el cíngulo anterior, la amígdala y estructuras temporales (para una revisión ver Pahn et al., 2002; Bar-On et al., 2003).

La CPFVL participa en la selección de respuestas basadas en la información emocional y en el control de los conflictos entre respuestas afectivas en competencia (Davidson, 2002; Sotres-Bayon et al., 2004). La CPFVL, en conjunción con la amígdala, constituye un circuito involucrado en la detección del peligro. La amígdala es típicamente activada por estímulos visuales generadores de miedo (Davis, 1992; Adolphs, 1995; Le Doux et al., 2000) y el lóbulo temporal medial participa en la memoria emocional (Sterpenich et al., 2007), especialmente el giro fusiforme que se activa cuando las tareas emocionales demandan conjuntamente un procesamiento cognitivo y emocional (Geday et al., 2003).

La regulación cognitiva de la emoción involucra a la CPFDL, la CPFVL, la corteza prefrontal medial y la corteza cingulada. Por ejemplo, estas áreas se activan al revalorar y atenuar conscientemente el afecto negativo (Phan et al., 2005; Banks et al., 2007), en la respuesta inmediata a imágenes desagradables en contraste con imágenes neutras (Simpson et al., 2000), al escoger entre caras de miedo o de enojo en comparación con formas irregulares (Payer et al., 2008) o al inhibir conscientemente una reacción emocional ante una película erótica a comparación de no inhibirla (Beauregard et al., 2001).



La amígdala puede modular especialmente el procesamiento prefrontal medial por sus extensas conexiones recíprocas y el procesamiento prefrontal lateral por sus conexiones ascendentes más escasas (McDonald, 1991; Ghashghaei y Barbas, 2002). La respuesta de condicionamiento de miedo y su extinción se consideran como dos tipos de conductas que dependen en gran parte de las estructuras límbicas y prefrontales (Quirk et al., 1995; Morgan y Le Doux, 1995).

Se sugiere que el sueño MOR juega un papel importante en el procesamiento emocional por el alto contenido emocional de las ensoñaciones y por la actuación de los sueños en el trastorno conductual del sueño MOR (ver Tachibana, 2009), la activación límbica endógena, así como la activación adicional y sincronía que acompaña a los fenómenos fásicos, (Hobson et al., 2000; Calvo et al., 1987; Maquet et al., 1996; Ioannides et al., 2004; Corsi-Cabrera et al., 2008). Esta suposición está de acuerdo con el incremento metabólico observado durante el sueño MOR en áreas involucradas con el procesamiento emocional como el complejo amigdalino, el cíngulo anterior, las cortezas mediales y orbitales, el lóbulo temporal en la región del giro fusiforme, y el opérculo y los giros inferior y superior parietales (Maquet et al., 1996; Braun et al., 1997; Nofzinger et al., 1997).

Los escasos estudios sobre los efectos emocionales de la privación de MOR indican una mayor excitabilidad emocional. La privación de MOR en animales produce cambios en el enfrentamiento ante estímulos amenazantes que indican una reducción de la inhibición conductual. En ratas privadas de MOR se incrementa la respuesta de raticidio (Hicks et al., 1979), de conductas agresivas ante choques eléctricos (Morden et al., 1968), se reduce el miedo determinado por un aumento en la estancia del centro del campo abierto y en los brazos abiertos del laberinto elevado en cruz (Hicks y Moore, 1979; Martínez-González et al., 2004), mientras que la conducta de escarbar y la duración de la conducta de congelamiento (o *freezing*) se reducen (Martínez-González et al., 2004). Tanto en el condicionamiento clásico de miedo como en el condicionamiento de miedo a un contexto las ratas privadas de sueño MOR mostraron menor duración en la conducta de congelamiento, mientras que en la evitación pasiva tuvieron menor latencia que los grupos controles (Dametto et al., 2002). La extinción de la respuesta condicionada de miedo se retarda

(Silvestri, 2005; Fu et al., 2007; Ruskin et al., 2004). Disminuye en ratas el umbral para el dolor (Hicks et al., 1978), los animales no se adaptan a los choques eléctricos y aumenta la actividad motora (Albert et al., 1970). También hay preferencia por la novedad (Moore et al., 1979) y se incrementa la tasa de autoestimulación en la región basal anterior (Steiner y Ellman, 1972).

En humanos la privación de sueño MOR aumenta la ingesta de comida, la irritabilidad y la ansiedad (Dement, 1960) y hay mayor dificultad para establecer relaciones interpersonales en sujetos normales (Pearlman, 1982, citado en Bonnet, 2000). La adaptación y el humor empeoran ante la película de una autopsia (en la escala de humor *Profile of Moods Scale*, POMS) (Greenberg et al., 1972). Estos resultados han conducido a proponer y utilizar la privación de sueño MOR como terapia para mejorar el estado de ánimo en pacientes con depresión (Vogel, 1975).

Los únicos estudios recientes en humanos que tratan la relación de la emoción con el sueño MOR no son de privación, sino de reducción del sueño, ya sea del último tercio cuando el sueño MOR es más abundante o del primer tercio cuando la cantidad de sueño MOR es escaso. Las respuestas emocionales de desagrado ante estímulos con contenidos aversivos conocidos en comparación con estímulos con contenidos aversivos novedosos se amplifican después del periodo de sueño rico en MOR (Wagner, Fischer y Born, 2002), así como aumenta el recuerdo de textos emocionales en comparación con textos neutros (Wagner et al., 2001).

Las evidencias revisadas, relacionadas con el procesamiento emocional y el sueño MOR, así como los efectos de su privación sugieren que el sueño MOR participa en la modulación de los sistemas ejecutivo-emocionales. La activación límbica y paralímbica y la desactivación prefrontal durante el sueño MOR, conjuntamente con mayor acoplamiento temporal entre los hemisferios y desacoplamiento entre regiones frontales y posteriores de asociación sugiere que durante el sueño MOR el control prefrontal sobre las estructuras involucradas en el procesamiento, tanto cognitivo como emocional está disminuido. Este patrón de activación y desactivación resulta en un estado particular del cerebro que puede facilitar el reprocesamiento de experiencias tanto cognitivas como emocionales libre de la modulación prefrontal en un ambiente seguro provisto por la atonía muscular. Este estado podría favorecer

el establecimiento de relaciones novedosas entre la información adquirida el día anterior y reestablecería el balance y la excitabilidad adecuados para el día siguiente (Horne, 2000; Snyder, 1971; Walker, 2009).

## **INTRODUCCIÓN**

### **Planteamiento del problema**

Se sabe que la corteza dorsolateral prefrontal tiene un papel importante en las funciones ejecutivas racionales. Sin embargo, el papel de la corteza prefrontal no se limita al control ejecutivo de procesos lógicos, racionales y cognitivos, sino también emocionales. Se ha mostrado que en vigilia, la capacidad de integrar la información emocional con el procesamiento cognitivo comprende un sistema neuronal que incluye a la corteza prefrontal ventrolateral y el cíngulo anterior.

Existen abundantes evidencias de una activación límbica y paralímbica y de una desactivación prefrontal durante el sueño MOR, conjuntamente con mayor acoplamiento temporal entre los hemisferios y desacoplamiento entre regiones frontales y posteriores de asociación. Estas evidencias sugieren que durante el sueño MOR el control prefrontal sobre las estructuras involucradas en el procesamiento tanto cognitivo como emocional de la información está disminuido y que durante el sueño MOR hay una descarga coordinada, tal vez debida a la falta de control prefrontal, sobre la excitabilidad neuronal.

Por tanto, durante el sueño MOR el cerebro se encuentra con la capacidad para:

- Crear asociaciones novedosas no planeadas
- Reprocesar la información cognitiva de tipo compleja y
- Procesar la experiencia emocional libre del control frontal

En consecuencia, la privación de sueño MOR tendría un efecto nocivo sobre esas funciones, ya que afectaría la creación de asociaciones novedosas no planeadas, el reprocesamiento de la información cognitiva y el procesamiento emocional, libre del control prefrontal. Una noche de privación casi total de sueño MOR conservaría la excitabilidad producida sin la descarga coordinada correspondiente produciendo la permanencia y/o desgaste del control prefrontal y vulnerando las funciones ejecutivas racionales y emocionales.

La falta de sueño MOR privaría al cerebro de la sincronización de frecuencias rápidas, de la activación inducida por las PGOs y del acoplamiento temporal interhemisférico, así como de la desactivación prefrontal. Esto podría tener consecuencias sobre funciones ejecutivas tanto de naturaleza cognitiva

como emocional que demandan la participación de los lóbulos frontales y la integración de información novedosa, especialmente de aquella que demanda la integración de conocimientos adquiridos separadamente y de la que requiere el control ejecutivo en la selección de respuestas ya sean cognitivas o emocionales.

### **Justificación de la investigación**

En humanos se han estudiado escasamente los efectos de la privación de sueño MOR sobre las funciones ejecutivas racionales y emocionales. Los estudios de otras épocas no disponían de la tecnología de los métodos de análisis conductual y de neuroimagen y los únicos estudios recientes en humanos que tratan la relación de las funciones ejecutivas racionales y emocionales con el sueño no son de privación de sueño MOR, por lo que consideramos de gran importancia la exploración de los efectos de la privación casi total de la etapa de sueño MOR ya que las evidencias muestran que el sueño MOR es necesario para la restauración de los sistemas ejecutivo racional y emocional del cerebro.

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto de la privación selectiva de una noche de sueño MOR sobre la ejecución conductual y la actividad metabólica cerebral de funciones cognitivas y emocionales que demandan la participación de la corteza prefrontal.

### **Objetivos específicos**

1. Evaluar el efecto de la privación selectiva de sueño MOR sobre las siguientes funciones ejecutivas:

- a) Adquisición y retención de reglas de secuencia lógica verbal y no verbal.
- b) Capacidad de integración de dos reglas de secuencia lógica, adquiridas por separado, la verbal y la no-verbal.
- c) Atención sostenida.
- d) Flexibilidad de pensamiento.
- e) Pensamiento divergente.

f) Capacidad para implementar una regla compleja arbitraria y abstracta.

2. Evaluar el efecto de la privación selectiva de sueño MOR sobre la reactividad emocional en la:

- g) Respuesta defensiva ante estímulos de agresión directa e indirecta.
- h) Respuesta emocional subjetiva de agrado y desagrado.

3. Evaluar el efecto de la privación selectiva de sueño MOR sobre la actividad metabólica cerebral durante:

- a) La implementación de una regla compleja arbitraria y abstracta.
- b) La respuesta defensiva ante estímulos de agresión directa e indirecta.

### **Hipótesis**

Las evidencias revisadas llevan a estudiar los efectos cerebrales fisiológicos y psicológicos debidos a la privación de sueño MOR sobre funciones ejecutivas tanto de naturaleza cognitiva como emocional que demandan la participación de los lóbulos frontales y la integración de información novedosa. El rendimiento en tareas ejecutivas que involucran áreas prefrontales se verá afectado por la privación de sueño MOR, especialmente en tareas complejas que demanden la integración de conocimientos y la conducta guiada por reglas abstractas y novedosas, así como aquéllas que requieren el control ejecutivo en la selección de respuestas emocionales, mientras que afectará de menor forma o no afectará a funciones más sencillas como la atención sostenida visual.

Para probar esta hipótesis aplicamos una batería *ad hoc* para evaluar funciones ejecutivas cognitivas y emocionales además de evaluar la respuesta metabólica cerebral mediante resonancia magnética funcional (RMf) en dos de ellas. Con este fin elaboramos cuatro tareas nuevas. La primera evalúa la capacidad para implementar reglas abstractas arbitrarias y novedosas; la segunda evalúa la capacidad para integrar información adquirida de manera independiente el día anterior. La tercera tarea evalúa la toma de decisiones emocionales ante estímulos que representan amenaza y peligro, y la cuarta, la intensidad de la experiencia emocional subjetiva.

Esperamos un deterioro de las funciones ejecutivas, especialmente las que demandan integración de información adquirida previamente por separado y las que requieren del control ejecutivo en la toma de decisiones tanto cognitivas como emocionales. Suponemos que el patrón de activación metabólica se alterará después de la privación de sueño MOR.

La privación selectiva de una noche de sueño MOR modificará el funcionamiento ejecutivo y emocional en la vigilia del día siguiente, específicamente:

1) Disminuirá la capacidad para integrar dos reglas de secuencia lógica, adquiridas por separado el día anterior, sin afectar la retención de cada una de ellas.

- Aumentará el número de estímulos necesarios para alcanzar el 80% de respuestas correctas en la integración de las dos reglas.

- Aumentará el tiempo de reacción al integrar las dos reglas

- No se afectará la retención de cada regla por separado

2) No afectará la capacidad de atención sostenida en la prueba de Atención Sostenida Visual (TASVI):

- No se modificará el tiempo de reacción ni el número de aciertos.

3) Reducirá la flexibilidad de pensamiento (WCST).

- Aumentará el número de errores

- Aumentará el tiempo de reacción

- Aumentará el número de las perseveraciones

4) Reducirá el pensamiento divergente (FAS):

- Disminuirá el número de palabras

5) Disminuirá la capacidad para implementar una regla compleja arbitraria y abstracta.

- Aumentará el número de errores

- Aumentará el tiempo de reacción

6) Modificará la intensidad de la actividad metabólica de las redes involucradas en la implementación de una regla compleja arbitraria y abstracta.

7) Aumentará la respuesta defensiva ante estímulos de agresión directa e indirecta en la Tarea de Respuestas Defensivas (TRED):

- Aumentará el número de respuestas defensivas.

- Disminuirá el tiempo de reacción

8) Modificará la intensidad de la actividad metabólica de las redes involucradas en la respuesta defensiva ante estímulos de agresión directa e indirecta.

9) Aumentará la intensidad de la respuesta emocional subjetiva de agrado y desagrado ante imágenes con contenido emocional en la Tarea de Evaluación Subjetiva de Emociones (TESE).

Para probar estas hipótesis se evaluarán las funciones mencionadas antes y después de una noche de privación selectiva de sueño MOR y se compararán con un grupo control sometido al mismo número de interrupciones de sueño NMOR para controlar los efectos inespecíficos de un sueño interrumpido.



## **II. MÉTODO**

### **Sujetos**

Participaron 19 varones universitarios entre 21 y 35 años de edad, diestros de acuerdo con la prueba de Annet (1967) y con visión normal o corregida. Todos ellos, con al menos el nivel de licenciatura, tenían hábitos estables para dormir y se encontraban sin trastornos de sueño, depresión, antecedentes neurológicos o de ingestión de fármacos. La información se obtuvo mediante entrevista estructurada, un diario de 15 días de hábitos de dormir y el Inventario de depresión de Beck en la versión validada en la población mexicana (Beck et al., 1961; Díaz-Guerrero, 1998), cuyo punto de corte para depresión moderada es igual o mayor a 13 puntos.

Todos los candidatos recibieron información sobre el procedimiento de registro e interrupciones del sueño, los días y noches que tendrían que quedarse en el laboratorio y la opción de suspender el experimento cuando quisieran. Los que cumplieron con los requerimientos de la muestra firmaron una hoja de consentimiento informado y al final del experimento recibieron una remuneración. El protocolo fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina de la UNAM.

### **Procedimiento**

Se formaron aleatoriamente 2 grupos. El primero ( $n = 12$ ) fue privado de sueño MOR (PMOR) y fue despertado cada vez que apareció esta fase del sueño, y el segundo ( $n = 7$ ) recibió el mismo número de interrupciones pero de sueño NMOR (INMOR), como control de efectos inespecíficos debidos al número de despertares. Las funciones ejecutivas y la reactividad emocional se evaluaron antes (LB), y después (PMOR o INMOR) de los tratamientos experimentales.

Todos los participantes durmieron 4 noches seguidas en el laboratorio en las que se realizó su registro polisomnográfico (PSG) de acuerdo al siguiente esquema: 1) una noche de habituación a las condiciones de registro

(H); 2) una noche de línea base de sueño; 3) una noche de intervención o tratamiento: ya sea privación de sueño MOR o de interrupciones en sueño NMOR; y 4) una noche post-tratamiento (REC). Desde la noche de privación y hasta la noche post-tratamiento los sujetos permanecieron en el laboratorio o cerca de éste bajo vigilancia constante para garantizar que no tomaran siestas. Se evitó que consumieran café o fumaran tabaco, por lo menos 2 horas antes de las tareas. Se les dio de desayunar y cenar los cuatro días que acudieron al laboratorio y de comer el día que tuvieron que estar bajo vigilancia constante.

### ***Polisomnografía***

El registro polisomnográfico se realizó siguiendo el procedimiento estándar de acuerdo al manual de Rechtschaffen y Kales (1968). Los registros se iniciaron y se terminaron a la hora que los sujetos expusieron en su diario de hábitos de sueño después del número de horas que por lo general duermen.

El EEG se registró con 19 electrodos de oro colocados de acuerdo al sistema Internacional 10-20 (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1, O2, FZ, CZ y PZ) referidos al lóbulo auricular izquierdo (A1). La impedancia se mantuvo debajo de los 10 k $\Omega$ . El electromiograma (EMG) se registró bipolarmente con dos electrodos en los músculos del mentón. El electroculograma (EOG) se registró monopolarmente con 2 electrodos: uno un centímetro arriba y otro abajo de los cantos externos de cada ojo y ligeramente laterales, ambos referidos al auricular izquierdo. El registro inició después de calibrar las señales y dar al sujeto las “buenas noches”.

Para la amplificación de las señales se usó un polígrafo Grass, modelo 8-16E con 26 amplificadores y filtros colocados para pasar frecuencias entre .1 y 70 Hz para el EEG, entre 10 y 70 Hz para el EMG, y entre 0.3 y 15 Hz para el EOG. Los datos se digitalizaron con una frecuencia de muestreo de 1024 Hz con un convertidor de 12 bits de resolución y se almacenaron en una computadora con el programa Gamma versión 4.7.

El sueño se clasificó de acuerdo con el manual de Rechtschaffen y Kales (1968) y se obtuvieron las siguientes variables de la arquitectura del sueño: tiempo total en la cama, tiempo total de sueño, índice de eficiencia de sueño, latencias, cantidad en minutos y porcentaje de las etapas 1, 2, y delta (3+4),

sueño MOR, vigilia intrasueño y latencia de sueño después de los despertares experimentales.

### ***Técnica de privación de sueño MOR y de interrupciones de sueño NMOR***

#### **Privación de sueño MOR**

Para privar a los sujetos de sueño MOR, se les despertó entrando a la cámara sonoamortiguada con una grabación de su nombre a la que se le fue subiendo el volumen cuando aparecieron los signos, considerados como sueño MOR, durante 60 segundos. Los signos son: EEG desincronizado, sin ondas lentas, complejos K ni husos de sueño y reducción del tono muscular, aún cuando todavía no aparecieran los movimientos oculares rápidos. Se les mantuvo despiertos durante 2 min, ya que con menos tiempo, la probabilidad de que entren inmediatamente a MOR es muy elevada, y con más tiempo, la probabilidad de que les cueste trabajo volver a dormirse es igualmente muy alta (Endo et al., 1998).

#### **Técnica de despertares de sueño NMOR**

Siguiendo el mismo procedimiento que en el grupo privado de MOR, se despertó a los sujetos del grupo control de las etapas 2, 3 ó 4 del sueño NMOR el mismo número de veces y con una distribución de los despertares a lo largo de la noche semejante a la de los sujetos del grupo de privación de sueño MOR. Para poder conocer el número de despertares necesarios para el grupo control, se comenzó el experimento con el grupo de privación de sueño MOR. Se contaron los despertares que fueron necesarios para cada sujeto privado de MOR y se fueron emparejando en cada sujeto del grupo control. Para igualar en la medida de lo posible la distribución de los despertares a lo largo de la noche con los del grupo experimental, se distribuyeron entre cinco ciclos de sueño asignando 22.19% de los despertares al primer y último ciclo y 77.65% a los ciclos intermedios de la siguiente manera. Un ciclo de sueño dura 90 minutos aproximadamente y la duración del episodio de MOR es menor para los primeros ciclos de la noche que para los últimos. A los 90 minutos de duración de cada ciclo, se restaron 15 minutos para el primer y segundo ciclo de la noche y 30 minutos al tercero y cuarto, que corresponden al episodio de MOR. Los despertares correspondientes a cada ciclo se repartieron sobre el

tiempo restante. En caso de que el sujeto no entrara a MOR en alguno de los ciclos, los despertares se repartieron de acuerdo con al ciclo que le tocara a esa hora tomando en cuenta el tiempo total de sueño de la noche de H y LB del mismo sujeto. La tabla 1 muestra un ejemplo del número de despertares y su distribución a lo largo de la noche.

Tabla 1. Distribución y número de despertares del sueño NMOR en toda la noche.

	Número de despertares	Sueño NMOR por ciclo (90 min- min de MOR).	Intervalo entre despertares
Primer ciclo (hasta 12:30 am).	3	$90 - 15 = 75$ min	Cada 25 min
Segundo ciclo (hasta las 2 am)	5	$90 - 15 = 75$ min	Cada 15 min
Tercer ciclo (hasta 3:30 am)	5	$90 - 30 = 60$ min	Cada 12 min
Cuarto ciclo (hasta 5:00 am)	5	$90 - 30 = 60$ min	Cada 12 min
Quinto ciclo (hasta 6:30 am)	3	$90 - 30 = 60$ min	Cada 20 min

### **Variables evaluadas**

Para evaluar el efecto de la privación selectiva del sueño MOR sobre las funciones ejecutivas y la reactividad emocional se evaluó la ejecución y la actividad metabólica tanto antes como al día siguiente de la intervención con las pruebas que se describen a continuación. La descripción detallada de cada tarea se encuentra en los anexos.

#### **A) Funciones ejecutivas**

Las funciones ejecutivas evaluadas fueron: la adquisición y la aplicación de reglas de secuencia lógica, la capacidad de integración de dos reglas de secuencia lógica adquiridas por separado, la atención sostenida, la flexibilidad ante el cambio de instrucciones, el pensamiento divergente, la toma de decisiones siguiendo una regla arbitraria abstracta y la inhibición de respuestas incorrectas. A continuación se hace una descripción breve de cada prueba. Una descripción más detallada aparece en los anexos:

a) La adquisición y aplicación de reglas de secuencia lógica verbal y no verbal se midió con la *Tarea de Integración Novedosa de Secuencias Lógicas* (TAINSEL) que tiene dos modalidades, una verbal (V) con pseudopalabras y otra no verbal (NV) o visuo-espacial. Esta tarea se diseñó en el laboratorio expresamente para este experimento con la finalidad de evaluar el aprendizaje de una regla de secuencia lógica en una primera sesión, y su retención 24 horas después, así como la integración de las dos reglas, la verbal y espacial. En la adquisición, la prueba se suspende cuando el sujeto alcanza el 80% de respuestas correctas, o después de 144 estímulos; lo que ocurriera primero. La tarea fue piloteada en un grupo de sujetos en repetidas ocasiones antes del inicio del experimento. Las variables dependientes en esta prueba son: el número de estímulo necesarios para alcanzar el 80% de respuestas correctas, el tiempo de reacción de respuestas correctas e incorrectas y las omisiones.

La memoria a largo plazo se evaluó con la misma tarea TAINSEL después del tratamiento experimental 24 horas después de la adquisición. En la segunda sesión se solicita al sujeto que ejecute nuevamente la tarea y exprese verbalmente la regla. Las variables dependientes son las mismas.

b) La capacidad de integración de dos reglas de secuencia lógica adquiridas por separado antes del tratamiento experimental, la verbal y la no verbal, se evaluó también con la misma tarea TAINSEL, con una versión desconocida para el sujeto, en la que debe combinar la regla de las pseudopalabras con la regla visuoespacial. Las variables dependientes son las mismas.

c) La capacidad para sostener la atención por periodos prolongados de tiempo se evaluó con la *Tarea de Atención Sostenida Visual* (TASVI) que ha sido ampliamente utilizada con estos fines para evaluar los efectos de la privación total de sueño (Lorenzo et al., 1995; Corsi-Cabrera et al., 1996), del insomnio (Pérez-Ortiz, 2008) y los efectos de la ingestión de benzodiazepinas (Muñoz-Torres et al., 2005, 2008). Las variables dependientes en esta prueba son el número de respuestas correctas, de omisiones, de falsos positivos y el promedio del tiempo de reacción de las respuestas correctas.

d) La flexibilidad de pensamiento se midió con la *Tarea de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin* (WCST por sus siglas en inglés) que es ampliamente utilizada para medir funciones ejecutivas (Heaton et al., 1993). Esta prueba evalúa la habilidad para cambiar las estrategias cognitivas en respuesta a contingencias medioambientales cambiantes y para desarrollar y mantener una estrategia apropiada. Requiere la planificación de la estrategia, la búsqueda organizada, utiliza la retroalimentación medioambiental para cambiar los escenarios cognitivos, dirigir la conducta hacia la meta y modular la respuesta impulsiva (Heaton et al., 1993). Las variables dependientes en esta prueba son el número total de estímulos presentados, el porcentaje de respuestas correctas e incorrectas, el tiempo de reacción de las respuestas correctas e incorrectas, el número de perseveraciones, y el número de series terminadas.

e) El pensamiento divergente se evaluó con la *Tarea de Fluidez Verbal* (FAS) que ha sido estandarizada para poblaciones hispano-parlantes y mostrado su sensibilidad en poblaciones con características distintas (Ardila et al., 1994), entre un mismo grupo en situaciones diversas (Solís-Ortiz y Corsi-Cabrera, 2008), para los efectos de la privación total de sueño (Horne et al., 1988) y la privación de sueño MOR (Lewin y Glaubman, 1975). Las variables dependientes en esta prueba son el número de palabras expresadas en un

minuto que inicien con una letra del alfabeto que no sean nombres propios ni palabras derivadas.

f) La selección de respuestas guiadas por reglas abstractas se evaluó con la *Tarea de Respuestas Guiadas por Reglas Arbitrarias Abstractas* (TRERA), que demanda flexibilidad ante el cambio de instrucciones e inhibición de respuestas incorrectas. Esta tarea se diseñó en el laboratorio con la finalidad de evaluar la capacidad de seguir una regla compleja abstracta con dos niveles de dificultad, una con una regla simple y una sola respuesta, y la otra con una regla compleja abstracta y dos posibles respuestas, ambas con los mismos estímulos. Algunos estímulos de la regla compleja abstracta contravienen las respuestas evidentes o acostumbradas. La tarea fue probada en un amplio grupo de sujetos antes del inicio del experimento y ha sido ya utilizada en otro experimento (Muñoz-Torres et al., 2008). La actividad metabólica cerebral se obtuvo durante la ejecución de esta tarea. Las variables dependientes en esta prueba son las respuestas correctas, incorrectas, las omisiones, los falsos positivos, los falsos negativos, y los tiempos de reacción de respuestas correctas e incorrectas.

## **B) Reactividad emocional**

Se evaluaron dos aspectos: las funciones ejecutivas de toma de decisiones e inhibición de respuestas impulsivas ante imágenes que suscitan una respuesta defensiva y la respuesta emocional subjetiva ante imágenes con carga emocional.

g) La respuesta defensiva ante estímulos de agresión directa e indirecta, que requiere la toma de decisiones e inhibición de respuestas impulsivas, se evaluó con la *Tarea de Respuestas Defensivas* (TRED) que presenta imágenes con acciones amenazantes y no amenazantes tomadas de la serie de Lang et al. (2005). Esta tarea se diseñó en el laboratorio expresamente para este experimento. La tarea fue probada en un amplio grupo de sujetos antes del inicio del experimento. La actividad metabólica cerebral se obtuvo también durante la ejecución de esta tarea. Las variables dependientes en esta prueba son el número de respuestas al botón denotado como "bala", el número de respuestas al botón denotado como "nada", el porcentaje de las respuestas

“bala” y “nada”, las omisiones, y el tiempo de reacción de las respuestas “bala” y “nada”.

h) La respuesta emocional subjetiva de agrado y desagrado ante imágenes se evaluó presentando imágenes agradables y desagradables tomadas de Lang et al. (2005). En esta tarea el sujeto debe evaluar la experiencia subjetiva ante cada imagen en escalas tipo Likert que constituyen la *Tarea de Evaluación Subjetiva de la Emoción (TESE)* (Ramos et al., 1996). La tarea se diseñó expresamente en el laboratorio con la finalidad de evaluar la respuesta subjetiva emocional suscitada por las imágenes y fue probada en un amplio grupo de sujetos antes del inicio del experimento. La variable dependiente en esta prueba es la puntuación elegida en un continuo de 0 a 9 en 9 adjetivos que denotan emociones (Ramos et al., 1996; Flores-Gutiérrez et al., 2007).

### ***Procedimiento de aplicación de las tareas***

Todas las pruebas se presentaron en una computadora, a excepción de la de fluidez verbal cuyas respuestas se grabaron para su análisis posterior. Para la presentación de las tareas se utilizó el programa “E-prime” que manda un pulso de sincronización con cada estímulo. Esto permite obtener el número de respuestas correctas e incorrectas, los tiempos de reacción y la actividad metabólica relacionada con los estímulos para todas las tareas.

Debido a la duración de la aplicación de las tareas, éstas se dividieron en dos bloques, uno en la mañana a las 9 a.m. y otro en la noche a las 9 p.m.

Las tareas que se aplicaron en la sesión de las 9 a.m. fueron WCST y TESE. Las que se aplicaron a las 9 p.m. fueron FAS, TAINSEL y TASVI. Las tareas se aplicaron en orden contrabalanceado entre las sesiones de LB y después de los tratamientos y en la recuperación (los resultados de esta última no se muestran), así como entre los sujetos. La respuesta BOLD, que se obtuvo con la resonancia magnética funcional se midió durante las tareas TRERA y TRED a las 5 pm en orden contrabalanceado entre las sesiones de LB y después de los tratamientos, así como entre los sujetos. La programación de las sesiones y de las tareas aplicadas se muestra en la figura 1.





Tarea de Respuestas Defensivas se ejecutaron en orden contrabalanceado con respecto a los sujetos.

Todas las sesiones funcionales y anatómicas se realizaron en un Scanner General Electric de 1.5 Teslas equipado con bobinas de gradientes estándar de 23 mT/m (en el Hospital Ángeles del Pedregal con la colaboración del Mtro. David Trejo Martínez y el Dr. Rubén Conde). La cabeza del sujeto se sujetó cómodamente para minimizar los movimientos y se le colocaron unos tapones en los oídos para mitigar el ruido del scanner. Las imágenes funcionales se adquirieron con una secuencia de pulsos de EPI-BOLD con un ángulo de 90 grados, con un TE=27 ms, TR=3000 ms y FOV=24x24 cm, usando una matriz de 96x64 y con voxels de 3X4X6 mm. Se obtuvieron 8 cortes axiales orientados bicomisuralmente de 6 mm de espesor y con distancias de 4.5 mm, 5 por arriba de la comisura anterior y 2 por debajo de ella. La orientación y separación de los cortes se eligió centrándolos en regiones de interés tales como el lóbulo frontal, lóbulo parietal, tálamo, ganglios basales e hipocampo.

Todos los datos de resonancia magnética se transfirieron a otra computadora para su análisis posterior. Todas las imágenes se importaron por medio del MRICro (Rorden, 2006) al formato de análisis del *Statistical Parametric Mapping* (SPM2) (Friston et al., 1995) donde se alinearon, se normalizaron y se suavizaron con respecto al cerebro promedio de Talairach, usando como plataforma el "Matlab" (versión 6.5). Se realizó el análisis funcional de las imágenes midiendo la respuesta BOLD (*Blood Oxygen Level Dependent*) a partir de la aparición del estímulo.

### ***Análisis estadísticos***

Las diferencias en la ejecución de las pruebas entre antes y después de los tratamientos se compararon para cada grupo por separado mediante pruebas t de una sola muestra, y las diferencias entre grupos después de los tratamientos se compraron mediante pruebas t para grupos independientes.

Los resultados de la polisomnografía se compraron mediante ANOVAs mixtos. Para las comparaciones post-hoc se utilizó la prueba t de Tukey.

Para los resultados de la RMf se obtuvieron las diferencias en la respuesta BOLD utilizando el programa SPM2. Se realizaron tres tipos de análisis. A) Se detectaron las áreas con activación significativa durante la ejecución de las tareas después de una noche de línea base de sueño para todo el grupo con el objeto de caracterizar las áreas implicadas en cada tarea. B) Para analizar los efectos de la privación de sueño MOR y de las interrupciones de sueño NMOR se comparó la respuesta BOLD antes y después de cada tratamiento. Este análisis se hizo para cada grupo por separado con el objeto de visualizar los cambios inducidos por cada tratamiento. C) Se compararon directamente los tratamientos de los dos grupos. Se reportaron solamente las diferencias con una probabilidad no corregida  $< 0.05$  para conjuntos de voxels con por lo menos 11 voxels.

En el caso de la Tarea de Respuestas Guiadas por Reglas Arbitrarias abstractas se comparó la respuesta BOLD de las decisiones ante todos los estímulos menos la respuesta BOLD cuando los estímulos no demandan ninguna decisión; se obtuvo también la diferencia para las decisiones complejas y la decisión simple por separado.

En el caso de la Tarea de Respuestas Defensivas, se comparó la respuesta BOLD para los estímulos en los que se decidió disparar una bala y para los estímulos en los que se decidió no hacer nada en comparación con la línea base, así como la diferencia entre ambas decisiones.

### III. RESULTADOS

#### ***Características de la muestra***

La muestra estudiada y analizada quedó conformada por 19 hombres reclutados en la comunidad universitaria; el grupo de privación de sueño MOR quedó integrado por 12 sujetos y el grupo de interrupción en sueño NMOR por 7 sujetos. Todos los sujetos tuvieron por lo menos 70% de preferencia de la mano derecha según la prueba de Annet (1967). Las características de edad, escolaridad, puntajes en el Inventario de Beck y horas de sueño se muestran en la tabla 2. Ningún sujeto presentó síntomas de depresión. No hubo diferencias significativas entre los dos grupos en ninguna de estas variables.

Tabla 2. Media y desviación estándar de la edad, escolaridad, índice de depresión y horas de sueño de 15 días previos al experimento para los dos grupos.

Grupo	Edad	Escolaridad	Inventario de Beck	Horas diarias de sueño
PMOR	26±3	15.42±0.9	4.18±3	7.32±0.8
INMOR	23±4	15.29±3	3.0±2	7.45±1

#### ***Número y distribución de los despertares experimentales a lo largo de la noche***

En la tabla 3 se muestra el número de despertares para cada sujeto en cada grupo, así como el promedio por grupo. El 44% de las interrupciones del sueño NMOR ocurrieron en la etapa 2 y el 53.13% en sueño delta. Como puede verse en la figura 2, el promedio del número de despertares y su distribución a lo largo de la noche de cada tratamiento son semejantes en ambos grupos.

Tabla 3. Número de despertares para cada sujeto y promedio y desviación estándar para el grupo privado de MOR (PMOR) y el grupo de interrupciones en sueño NMOR (INMOR).

Grupo PMOR		Grupo INMOR	
Sujetos	Despertares	Sujetos	Despertares
DH	21	CG	21
JS	23	TI	21
DR	18	HG	19
MA	13	RA	13
GG	12	RC	14
EM	16	MD	17
IN	18	JC	21
SS	45		
AA	28		
EL	18		
LL	20		
GA	37		
PROMEDIO Y DS	22.42±9		18±3

PROMEDIO DE LOS DESPERTARES DEL GRUPO PRIVADO DE MOR Y DEL GRUPO DE INTERRUPCIONES EN NMOR EN LAS NOCHES DE TRATAMIENTO

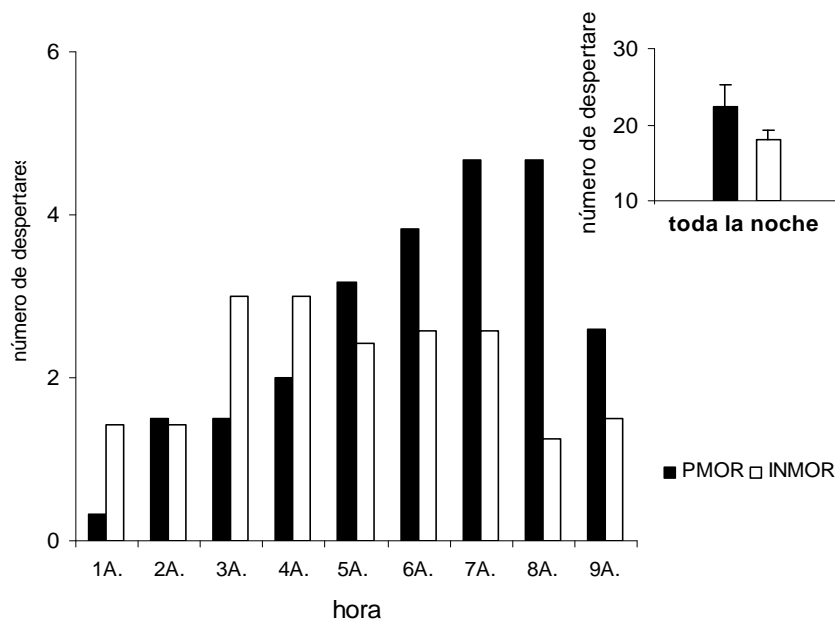


Figura 2. Se muestra el promedio del número de despertares a lo largo de las horas de sueño del grupo privado de sueño MOR (PMOR) y del grupo de interrupciones en sueño NMOR (INMOR), así como el promedio y el error estándar de los despertares de toda la noche de ambos grupos.

### Polisomnografía

La tabla 4 y la figura 3 muestran la arquitectura del sueño de los dos grupos en las noches de línea base, de manipulación experimental y de recuperación.

Tabla 4. Media y error estándar en porcentaje y en minutos de la arquitectura del sueño en las noches de línea base (LB), tratamiento experimental (TX) y recuperación (REC) para el grupo privado de MOR (PMOR) y el grupo de interrupciones en sueño NMOR (INMOR); y probabilidad del ANOVA mixto (2 grupos x 3 noches).

	PMOR			INMOR			Probabilidad		
	LB	TX	REC	LB	TX	REC	GRUPO	TX	A x B
%/TTS									
E1	3.11 (0.3)	10.48 (1.4)	2.90 (0.3)	2.56 (0.7)	3.98 (0.6)	4.78 (1.2)	0.05	0.0002	0.0003
E2	50.5 (1.6)	60.84 (1.4)	47.78 (1.7)	56.89 (2.9)	50.3 (1.7)	53.76 (2.5)	—	0.05	0.0002
DELTA	24.89 (2)	24.51 (1.5)	21.76 (2)	20.68 (1.9)	24.86 (1.9)	16.37 (1.1)	—	0.004	—
MOR	21.48 (1)	4.1 (0.4)	27.54 (1)	19.85 (1.4)	20.84 (1.1)	25.07 (1.9)	0.002	0.000	0.000
Tiempo en minutos									
TTC	485 (8.3)	491.18 (8.9)	484.91 (12.3)	515.86 (19.3)	499.5 (12.8)	516.21 (24.2)	—	—	—
TTS	450.14 (11.2)	353.72 (14.3)	451 (15.14)	473.8 (20.9)	426.21 (16.6)	479.57 (21.6)	0.03	0.000	—
Eficiencia de sueño	92.11 (1.2)	—	92.62 (1.4)	91.45 (1.2)	—	93.05 (1.7)	—	—	—
E1	14 (1.6)	35.40 (4.2)	13.36 (1.9)	12.07 (3.4)	16.71 (2.4)	22 (4.7)	—	0.0009	0.0006
E2	228.31 (11.6)	215.81 (10.8)	215.68 (11.4)	268.57 (16.1)	214.28 (10.9)	260.78 (22.2)	0.05	0.02	—
DELTA	110.86 (8.4)	88 (8.4)	98.78 (7.5)	98.78 (10.4)	106.35 (10.1)	77.78 (5.3)	—	0.05	0.01
MOR	96.95 (5.6)	14.5 (1.5)	123.68 (4)	94.42 (8.5)	88.85 (5.8)	119 (8.6)	0.001	0.000	0.000
VINTRA	9.86 (2)	—	13.4 (5.5)	9.8 (2.9)	—	13.57 (6.4)	—	—	—
LAT E1	21.77 (16)	26.68 (10.9)	13.72 (6.3)	3.38 (1.07)	4.92 (0.9)	13.07 (4.3)	—	—	—
LAT E2	8.27 (1.7)	8.72 (1.8)	9.68 (1.7)	7.42 (1.3)	6.50 (1.3)	10.07 (3.8)	—	—	—
LAT DELTA	34.95 (4)	46.54 (8)	42.86 (4.2)	39.07 (4.9)	39.64 (4.4)	56.5 (18.8)	—	—	—
LATMOR	103.9 (12.2)	127.8 (23.5)	87.4 (10.3)	90.5 (10.3)	99.35 (9)	74.28 (8.8)	—	—	—
LAT sueño TX	—	9.45 (2.99)	—	—	5.79 (1)	—	0.006	—	—
Despertar natural	—	4.2	—	—	1.43	—	—	—	—
Despertar TX	—	22.42 (2.83)	—	—	18 (1.29)	—	—	—	—

Tiempo total de sueño (TTS), Tiempo total en la cama (TTC), latencia a cada etapa (LAT), despertar experimental (TX).

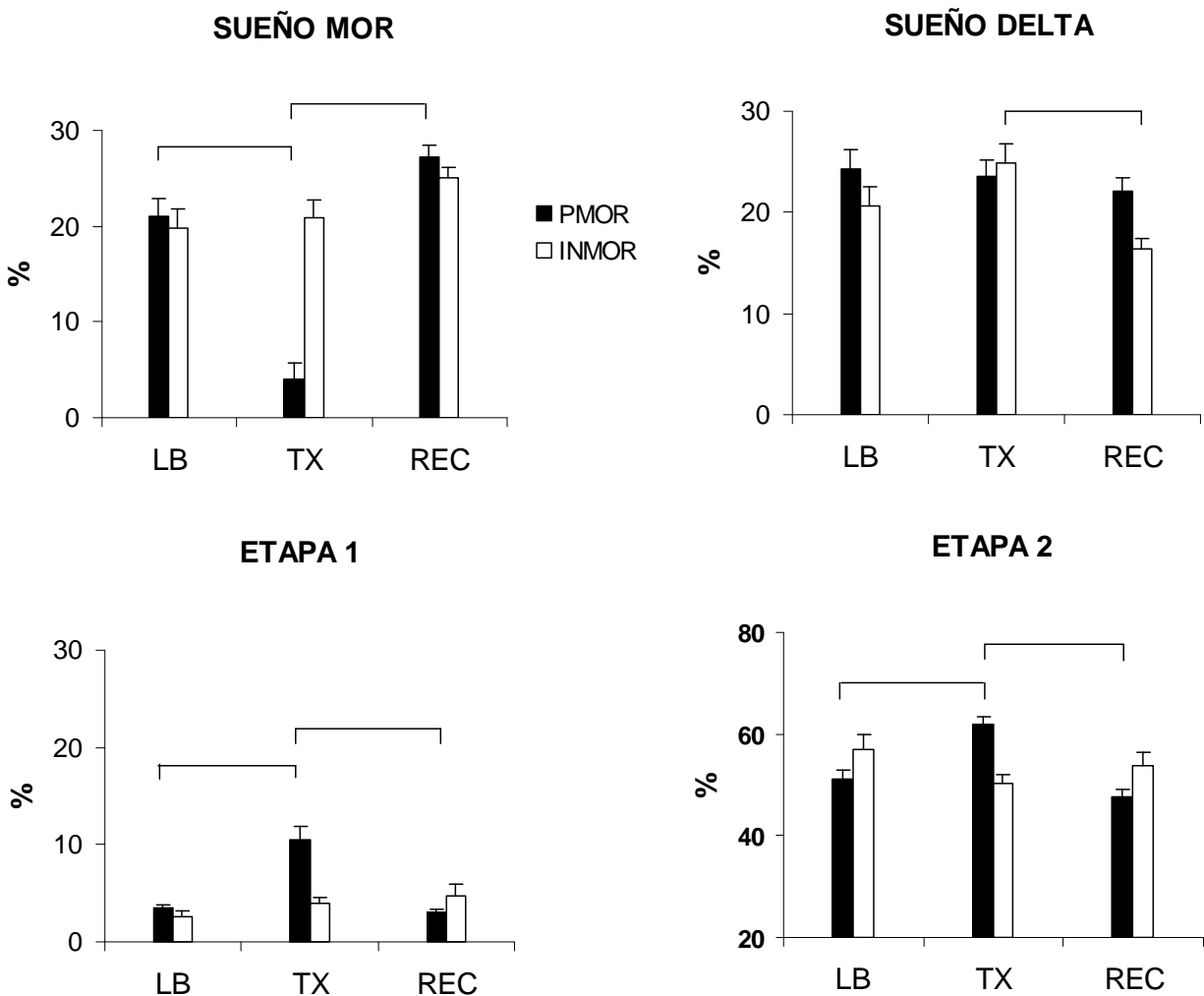


Figura 3. Cambios producidos por el tratamiento experimental (TX) en los porcentajes de sueño MOR, sueño delta (etapa3+4), etapa 1 y etapa 2 sobre el sueño total. Media y error estándar del porcentaje de cada etapa de sueño del grupo privado de sueño MOR (PMOR) y del grupo control (INMOR) en las noches de línea base (LB), de tratamiento experimental (TX) y de recuperación (REC). Las líneas horizontales sobre las barras señalan diferencias significativas en la prueba post-hoc de la interacción del ANOVA mixto (grupos x noches). Obsérvese la reducción significativa de sueño MOR exclusivamente en el grupo PMOR en la noche de tratamiento y su aumento en la noche de recuperación. El sueño delta no se modificó en ninguno de los dos grupos entre la LB y el TX, sólo se redujo en la noche de recuperación en el INMOR. La Etapa 1 y la Etapa 2 aumentaron significativamente en el grupo PMOR con la privación de MOR y regresaron a los niveles de la LB en la REC.

A continuación se describen los cambios significativos de la interacción grupos por condiciones y de las comparaciones post-hoc. Como se esperaba, el porcentaje de sueño MOR en el grupo privado de MOR se redujo significativamente (grupos x condiciones  $p < 0.001$ ) de 21% (DS = 3.7) en la LB a 4% (DS = 1.3) después de la privación de MOR, y aumentó significativamente en la noche de recuperación, mientras que en el grupo de interrupciones de sueño, no cambió significativamente (PRE-INMOR = 19.8%, DS = 3.81; POST-INMOR = 20.8%, DS = 2.96) antes y después de las interrupciones. El porcentaje de sueño delta no se modificó en el grupo privado de MOR y en el grupo INMOR se redujo en la noche de recuperación con respecto a la noche de interrupciones. Por lo tanto se cumplió el objetivo de casi suprimir el sueño MOR en un grupo, sin afectar el sueño delta en ninguno de los dos entre las LB y las noches de tratamiento. La ausencia de modificaciones significativas en la arquitectura del sueño del grupo de INMOR permite considerarlo como un grupo control.

La manipulación experimental indujo algunos cambios significativos en otras variables de la arquitectura del sueño de cada grupo. Los resultados de la interacción grupos por condiciones fueron significativos para las etapas 1 ( $p < 0.0003$ ) y 2 ( $p < 0.0002$ ). Los resultados de las comparaciones post-hoc mostraron que ambas etapas aumentaron significativamente únicamente en el grupo privado de MOR en comparación con su propia LB, y ambas etapas regresaron a niveles de la LB en la noche de recuperación (figura 3).

La latencia al sueño después de los despertares experimentales en las noches de tratamiento (figura 4), fue significativamente mayor en el grupo privado de MOR que en el de interrupciones de sueño ( $p < 0.006$ ).

No mostraron diferencias significativas el tiempo total de sueño, el tiempo total en la cama, la vigilia espontánea intra-sueño, el número de despertares espontáneos, ni tampoco la latencia a cada etapa del sueño. La eficiencia del sueño se sometió a un ANOVA de 2 x 2, eliminando la condición de tratamiento y no hubo diferencias significativas ni entre grupos ni entre la LB y la recuperación.



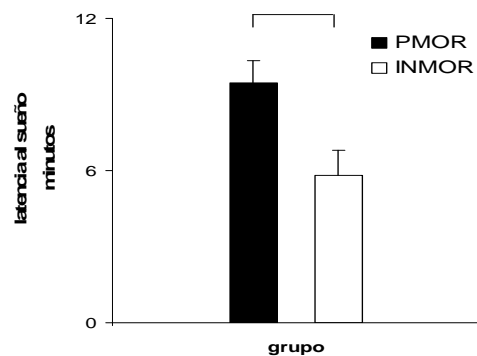


Figura 4. Promedio y error estándar de la latencia al sueño en minutos después de los despertares experimentales en el grupo privado de sueño MOR (PMOR) y en el grupo control de interrupciones de sueño NMOR (INMOR). La línea horizontal sobre las barras señala diferencias significativas entre los dos grupos.

## A) Funciones ejecutivas

### a) Tarea de Integración Novedosa de Secuencias Lógicas (TAINSEL)

#### *Adquisición y aplicación de reglas de secuencia lógica verbal y no verbal*

Como puede verse en la figura 5, la memoria de la regla lógica verbal fue mejor después de la noche de privación de MOR, pues estos sujetos necesitaron menor número de estímulos para alcanzar el 80% de respuestas correctas en comparación con la LB ( $p < 0.01$ ) equivalente a un ahorro del 13.5 %, tuvieron menos omisiones ( $p < 0.01$ ), y lo hicieron más rápido ( $p < 0.01$ ); la rapidez para los estímulos incorrectos no fue significativamente distinta. La comparación entre los dos grupos después del tratamiento no muestra diferencias significativas entre ellos.

La retención de la regla no-verbal (figura 5) no mostró cambios significativos en el número de estímulos necesarios para el criterio de 80% en ninguno de los dos grupos al comparar la ejecución después de los tratamientos con la LB (PMOR = 1.37%; INMOR = 11.58%), y sólo el grupo de interrupciones tuvo menos omisiones ( $p < 0.05$ ) y fue más rápido en las respuestas correctas ( $p < 0.01$ ).

En el TR de respuestas correctas y en el número de omisiones, sí hubo diferencias significativas entre los grupos ya que el grupo de interrupciones de sueño fue más rápido ( $p < 0.01$ ) y omitió menos estímulos ( $p < 0.01$ ) que el privado de MOR después del tratamiento.

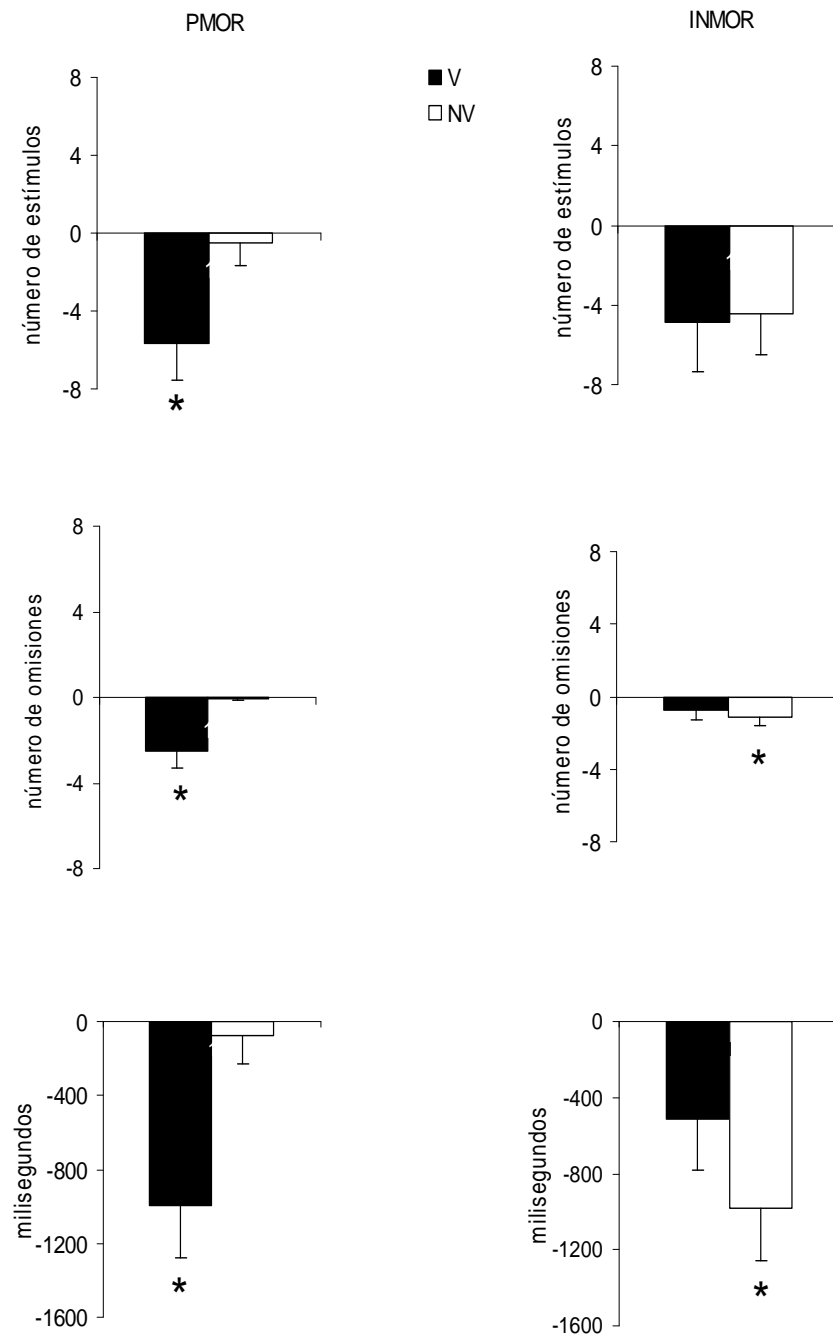


Figura 5. Promedio y error estándar de la diferencia del número de estímulos necesarios para alcanzar el 80% de respuestas correctas, las omisiones y el tiempo de reacción antes (línea cero) y después del tratamiento experimental en la tarea de secuencias lógicas cuando se ejecutan por separado la secuencia verbal (V) y la no verbal (NV) para el grupo privado de sueño MOR (PMOR) y el grupo control de interrupciones de sueño NMOR (INMOR). Los asteriscos señalan que las medias son significativamente diferentes de cero.

*Integración de las dos reglas de secuencia lógica, la verbal y la no-verbal (TAINSEL-INTEG)*

La capacidad de integración de las dos reglas adquiridas por separado, la verbal y la no-verbal, se comparó con la ejecución promedio de las dos reglas después de la privación (verbal+n-verbal/2).

Como puede verse en la figura 6, al comparar el número de estímulos necesarios para alcanzar el 80% de respuestas correctas en la integración de las dos reglas con el promedio de ejecución de la regla verbal y la no-verbal inmediatamente después de la privación de sueño MOR, se observa que la integración requirió un mayor número de estímulos, equivalente al 15.01 % más que después de la privación de MOR ( $p < 0.02$ ). El grupo de interrupciones de NMOR requirió un 62.74% más que después del tratamiento, que no es significativo ya que dos de los sujetos no pudieron integrar las secuencias.

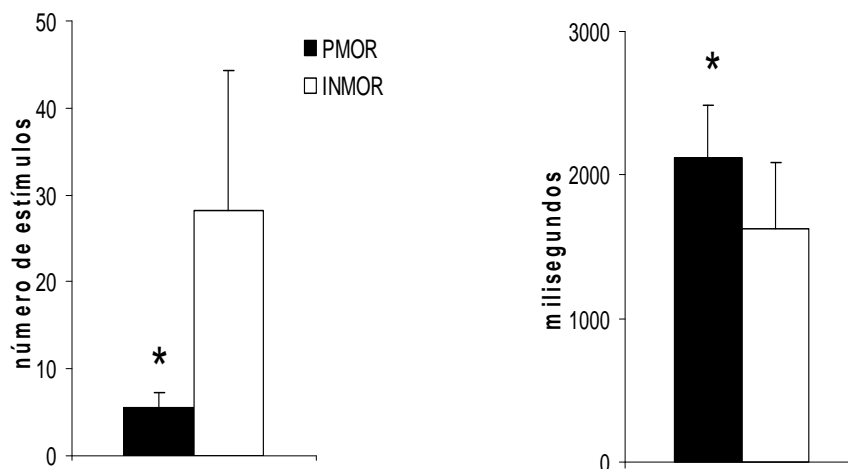


Figura 6. Promedio y error estándar de la diferencia del número de estímulos necesarios para alcanzar el 80% de respuestas correctas y el tiempo de reacción en la tarea de integración novedosa de secuencias lógicas en comparación con el promedio de la ejecución en cada prueba por separado después del tratamiento experimental (línea cero) para el grupo privado de sueño MOR (PMOR) y el grupo control de interrupciones de sueño NMOR (INMOR). Los asteriscos señalan que las medias en cada grupo son significativamente diferentes de cero.

El grupo privado de MOR fue significativamente más lento en la integración, tanto para las respuestas correctas ( $p < 0.002$ ) como para las incorrectas ( $p < 0.007$ ). Para el grupo de interrupciones de NMOR no hubo diferencias significativas entre el TR de la integración y el TR del promedio de las dos reglas después del tratamiento. No se observaron diferencias después del tratamiento entre los grupos en el TR de las respuestas correctas. Con las respuestas incorrectas no se puede hacer estadística entre los dos grupos pues en el grupo INMOR hay muy pocas incorrectas.

### **b) Tarea de Atención Sostenida Visual (TASVI)**

La capacidad para sostener la atención por 12 minutos en la prueba VISART no se afectó por ninguno de los dos tratamientos (figura 7).

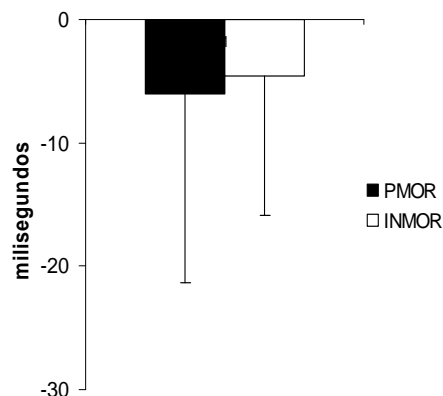


Figura 7. Promedio y error estándar de la diferencia de los tiempos de reacción de las respuestas correctas en la tarea de atención sostenida visual antes (línea cero) y después del tratamiento experimental para el grupo privado de sueño MOR (PMOR) y el grupo control de interrupciones de sueño NMOR (INMOR). No hubo diferencias significativas entre ambos grupos.

### c) Tarea de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin (WCST)

Como puede verse en la figura 8, el grupo privado de MOR mejoró después de la privación en comparación con la LB; el número de estímulos necesarios para completar la prueba disminuyó ( $p < 0.005$ ), lo mismo que el número de respuestas incorrectas ( $p < 0.02$ ). No hubo diferencias para las perseveraciones, ni para las respuestas correctas entre la línea base y la privación de MOR. El grupo de interrupciones de NMOR no mostró ningún cambio significativo en ninguna de estas variables. No hubo diferencias significativas entre los dos grupos después del tratamiento.

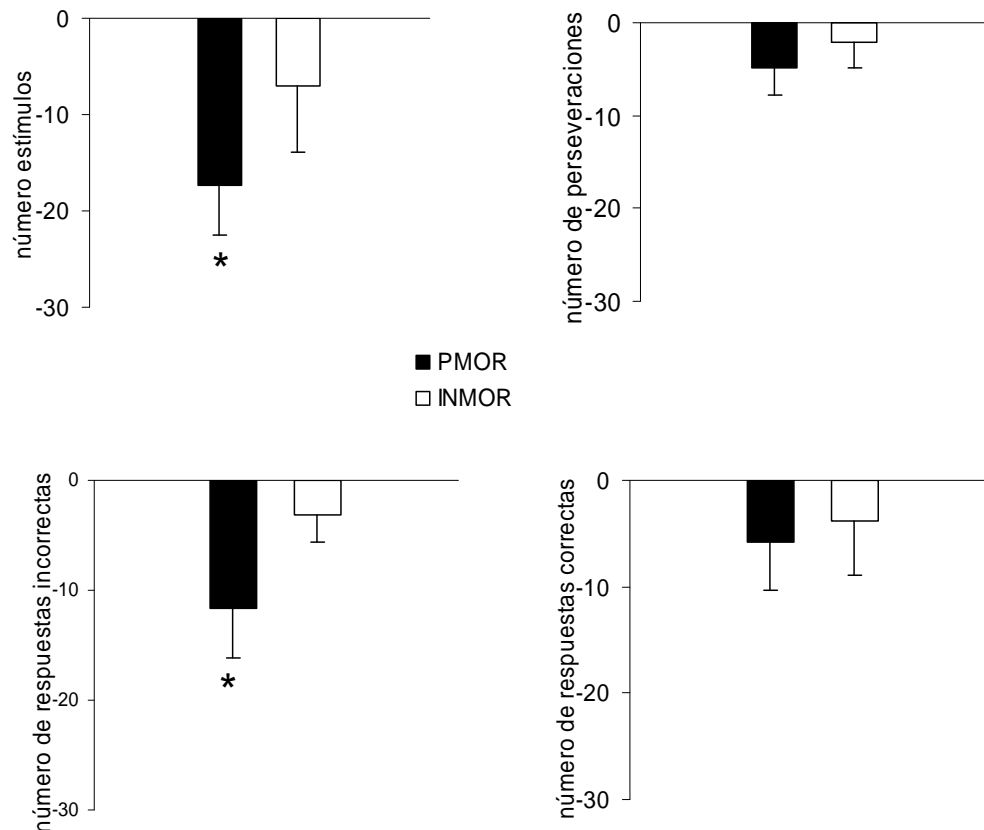


Figura 8. Promedio y error estándar de la diferencia del número de estímulos totales presentados, número de perseveraciones, número de respuestas incorrectas y número de respuestas correctas en la tarea de categorización de tarjetas de Wisconsin antes (línea cero) y después del tratamiento experimental para el grupo privado de sueño MOR (PMOR) y el grupo control de interrupciones de sueño NMOR (INMOR). Los asteriscos señalan que las medias son significativamente diferentes de cero.

#### d) Tarea de Fluidez verbal (FAS)

En la figura 9 puede verse que el número de palabras expresadas en la prueba FAS no varió entre la LB y la privación de sueño MOR. El grupo de interrupciones de sueño NMOR, en cambio, expresó mayor número de palabras después de la noche de interrupciones ( $p < 0.02$ ) en comparación con la LB. El incremento en el número de palabras después de las interrupciones de sueño NMOR fue significativamente mayor que en el grupo privado de MOR ( $p < 0.02$ ).

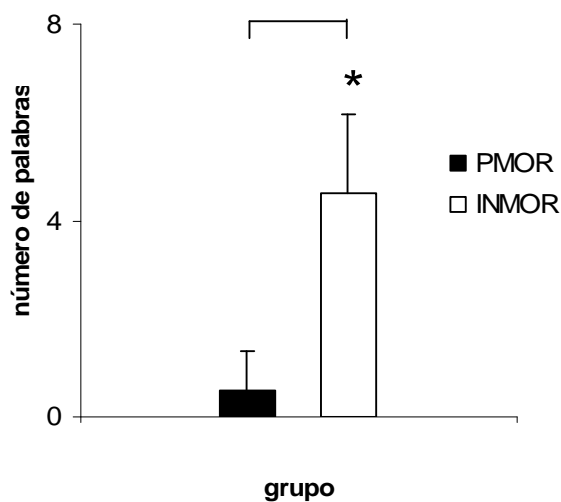


Figura 9. Promedio y error estándar de la diferencia de las palabras correctas expresadas en la tarea de pensamiento divergente FAS antes (línea cero) y después del tratamiento experimental para el grupo privado de sueño MOR (PMOR) y el grupo control de interrupciones en sueño NMOR (INMOR). El asterisco señala que las medias son significativamente diferentes de cero. La línea horizontal sobre las barras señala diferencias significativas entre los dos grupos. Obsérvese el aumento significativo de palabras exclusivamente en el grupo de INMOR.

### e) Tarea de Respuestas guiadas por Reglas Arbitrarias Abstractas (TRERA)

#### Resultados conductuales

##### Línea base

Con el objeto de confirmar que los niveles de dificultad de la tarea simple y la compleja, así como de los 4 tipos de reglas en el caso de la tarea compleja, son diferentes se hizo primero una comparación de los tiempos de reacción de todos los sujetos ( $n = 18$ ) en la línea base, antes de los tratamientos, con un ANOVA de medidas repetidas de dos factores ( $2 \times 4$ ): los dos niveles de dificultad de la tarea (la tarea simple y la tarea compleja) y los 4 tipos de estímulos (o de reglas en el caso de la modalidad compleja) (figura 10).

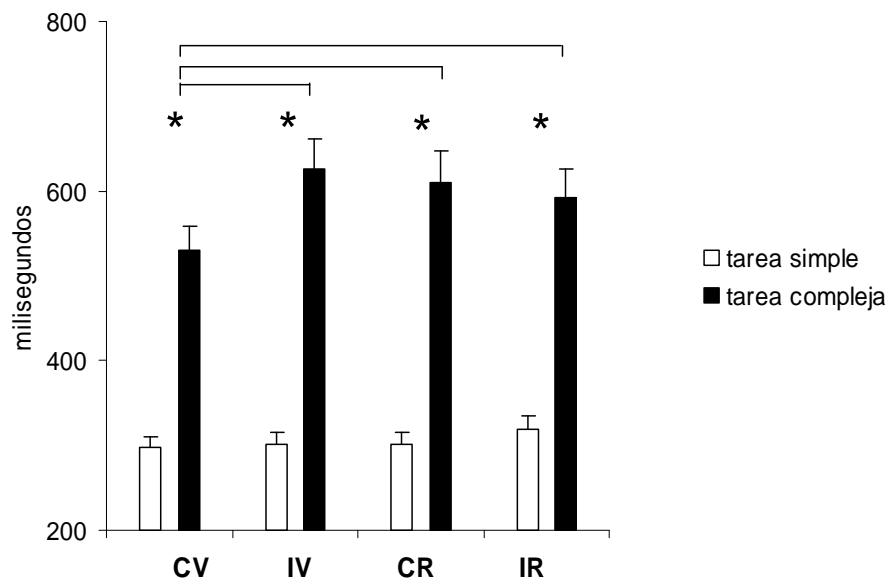


Figura 10. Promedio y error estándar del tiempo de reacción en la tarea de respuestas guiadas por reglas arbitrarias en la línea base para todos los sujetos ( $n=18$ ) cuando la tarea es simple o compleja. Los asteriscos señalan que las medias entre cada tipo de estímulo para la tarea simple y para la compleja son significativamente diferentes. La línea horizontal sobre las barras señala diferencias significativas exclusivamente entre la regla fácil y las difíciles de la tarea compleja en la prueba post-hoc de la interacción del ANOVA entre tareas y estímulos.

Los dos efectos principales fueron significativos, complejidad de la tarea ( $p < 0.0001$ ) y estímulos ( $p < 0.01$ ), así como la interacción ( $p < 0.02$ ). Como puede verse en la figura 10, los tiempos de reacción fueron significativamente más lentos (efecto principal  $p < 0.0001$ ) en la modalidad compleja que en la simple. Las comparaciones post-hoc de la interacción mostraron que todas las decisiones fueron más lentas en la tarea compleja en comparación con la simple, y en la tarea compleja para la regla más fácil (congruente verde, CV) que para las otras tres reglas (incongruente verde, IV; congruente rojo, CR; e incongruente rojo, IR). Con base en estos resultados se promedió la respuesta BOLD de las 3 decisiones o reglas más complejas.

Una vez comprobado que la aplicación de reglas complejas abstractas (tarea compleja) sobre los mismos 4 estímulos es más difícil que cuando prácticamente no hay regla (tarea simple), entonces se procedió a obtener las diferencias significativas debidas al tratamiento. Para esto se hicieron ANOVAs de medidas repetidas de  $2 \times 4$ , con el factor tratamiento (pre y post) y el factor estímulos y/reglas, para cada grupo por separado y para cada tarea, simple y compleja por separado.

#### Efecto de las interrupciones en sueño NMOR

En la figura 11 se muestran los resultados para el grupo de INMOR. Los TR fueron más rápidos después de las interrupciones de NMOR que en la LB, tanto para la tarea simple (efecto principal de tratamiento:  $p < 0.01$ ) como para la compleja (efecto principal de tratamiento:  $p < 0.0001$ ), y la diferencia entre reglas fue solamente significativa para la tarea compleja (efecto principal de estímulos:  $p < 0.02$ ), en la que el tiempo de reacción es más lento para los estímulos que representan las reglas complejas. El número de errores en la tarea compleja no cambió significativamente después de las interrupciones de NMOR.



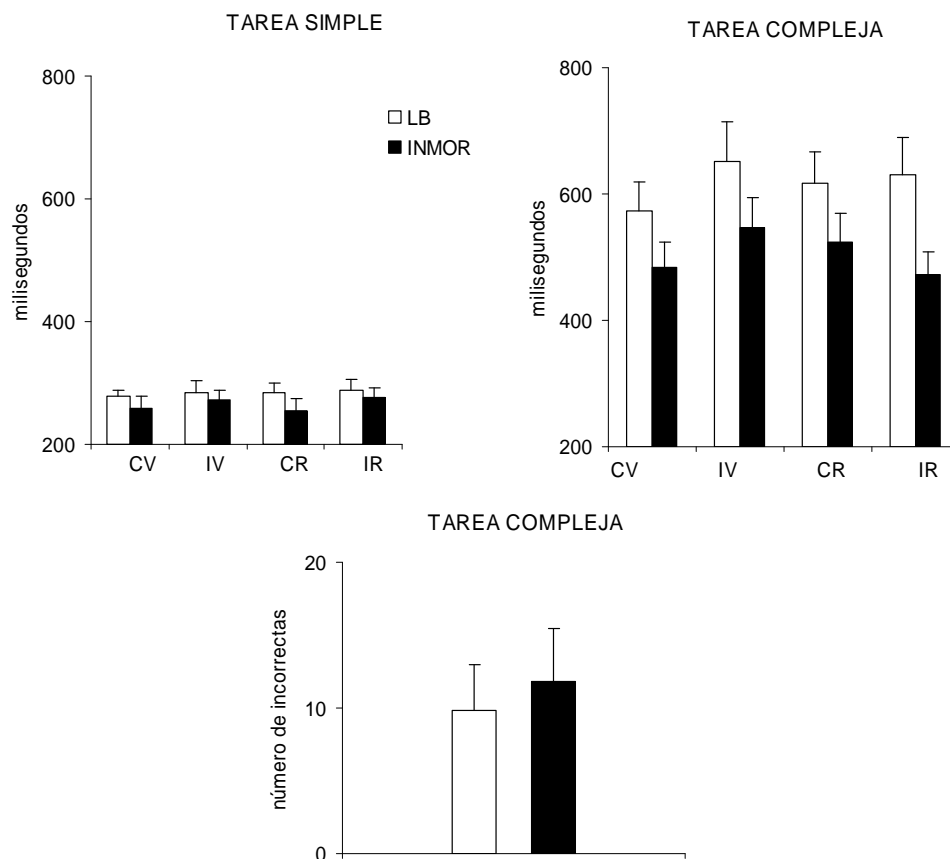


Figura 11. Promedio y error estándar del tiempo de reacción en las modalidades simple y compleja y número de respuestas incorrectas en la compleja en la Tarea de Respuestas Guiada por Reglas Arbitrarias Abstractas antes (LB) y después de las interrupciones de sueño NMOR (INMOR). Los estímulos son congruente verde (CV), incongruente verde (IV), congruente rojo (CR) e incongruente rojo (IR).

#### Efecto de la privación de sueño MOR

En la figura 12 puede verse como en el grupo privado de MOR no se encontraron diferencias significativas en el TR antes y después del tratamiento para la tarea simple. Los TR fueron más rápidos para la compleja después de la privación de MOR (efecto principal de tratamiento:  $p < 0.001$ ). Los TR para cada tipo de regla también fueron significativamente diferentes en el caso de la tarea compleja (efecto principal:  $p < 0.0001$ ); el TR para la regla más fácil es el más rápido.

El número de respuestas incorrectas antes y después del tratamiento se comparó solamente para la tarea compleja ya que para la simple no hubo errores ni en la LB ni después de la privación. Como puede verse en la figura

12, el número de errores en la tarea compleja aumentó significativamente después de la privación de MOR ( $p < 0.02$ ). Esto se debe a un incremento de falsos positivos y de falsos negativos más que de omisiones, pero no es posible hacer una comparación estadística separando el tipo de errores debido al pequeño número de cada tipo.

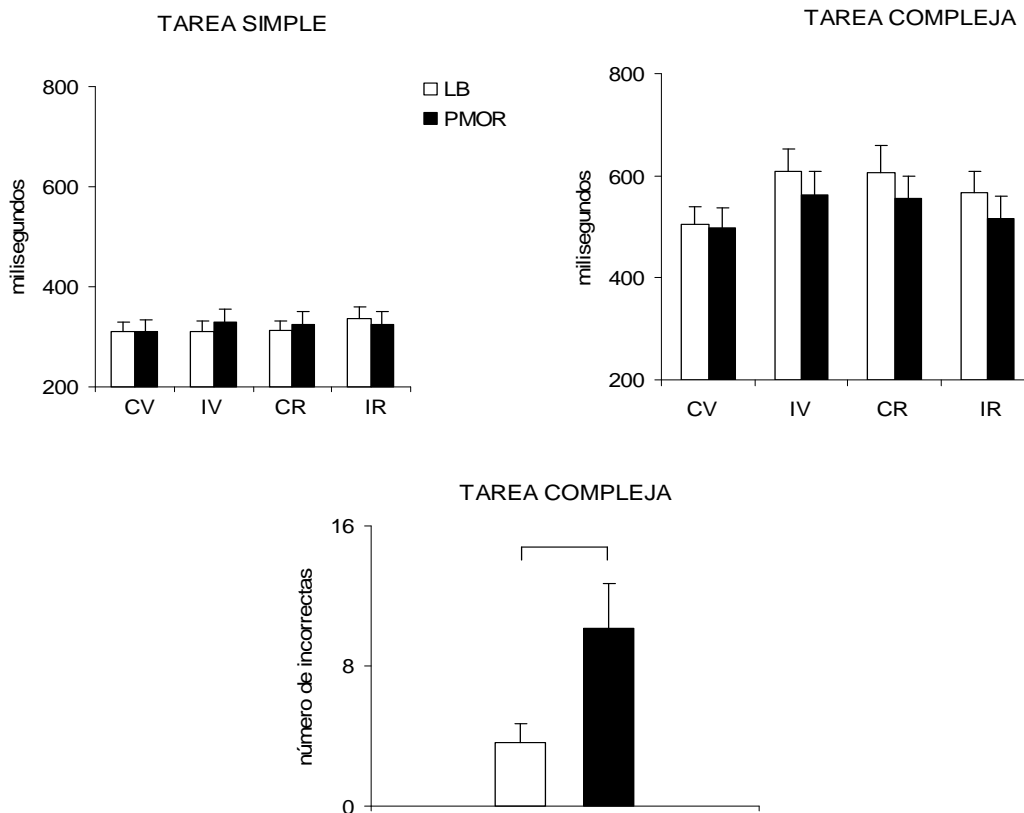


Figura 12. Promedio y error estándar del tiempo de reacción de las modalidades simple y compleja y número de respuestas incorrectas en la compleja en la Tarea de Respuestas Guiadas por Reglas Arbitrarias Abstractas antes (LB) y después de la privación de sueño MOR (PMOR). Los estímulos son congruente verde (CV), incongruente verde (IV), congruente rojo (CR) e incongruente rojo (IR). La línea horizontal sobre las barras señala diferencias significativas en el número de las respuestas incorrectas en la tarea compleja.

No se observaron diferencias después del tratamiento entre los dos grupos.

## Activación metabólica cerebral

### Línea base

Los análisis de la actividad metabólica durante esta tarea se llevaron a cabo con 18 sujetos ya que fue necesario descartar a un sujeto debido a sus movimientos dentro del escáner. Los resultados en la toma de decisiones ante todas las reglas se muestran en la figura 13 y en la tabla 5.

Durante la toma de decisiones frente a todas las reglas (menos no-decisión o estímulos vacíos) en la condición de línea base con todos los sujetos (n = 18) se observaron activaciones significativas en la porción anterior del giro temporal superior derecho (BA 22) y desde la ínsula hasta el giro postcentral parietal derecho (BA 43/BA 40).



Figura 13. Áreas en el mapa de SPM donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones ante todas las reglas (izq.) y ante las reglas fáciles (der.) en contraste con la no decisión en la Tarea de Reglas Arbitrarias Abstractas para los dos grupos en la línea base (n=18). Las áreas activadas en las reglas difíciles no se muestran porque son muy parecidas a las áreas activadas por todas las reglas (con la activación adicional del área 44 de Brodmann). Obsérvese la activación sobre el hemisferio derecho.

Tabla 5. Se muestran las áreas de Brodmann y las áreas anatómicas con sus correspondientes coordenadas y el número de voxeles donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones ante todas las reglas en la Tarea de Respuestas Guiadas por Reglas Arbitrarias Abstractas para los dos grupos en la línea base.

Cluster p(nc)	Voxel FDR	Valor Z Voxel	Coordenadas			Regiones	Área de Brodmann	Tamaño cluster
			x	y	z			
0.005	0.123	4.33	58	10	0	Der. Giro temporal superior	BA22	230
0.02	0.18	3.58	52	-20	16	Der. Insula	BA40	146
	0.195	3.20	54	-12	14	Der. Giro postcentral	BA43	

Las áreas donde se observaron activaciones con los 3 estímulos que representan las reglas difíciles y que por lo tanto demandan una decisión difícil fueron el giro temporal superior derecho junto con el giro precentral (BA 22/44) y los giros postcentral y parietal inferior derechos (BA 40/43). Los resultados en la toma de decisiones para las reglas difíciles en comparación con la no-decisión se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Se muestran las áreas de Brodmann y las áreas anatómicas con sus correspondientes coordenadas y el número de voxeles donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones ante las reglas difíciles en la Tarea de Respuestas Guiadas por Reglas Arbitrarias Abstractas para los dos grupos en la línea base.

Cluster p(nc)	Voxel FDR	Valor Z Voxel	Coordenadas			Regiones	Área de Brodmann	Tamaño cluster
			x	y	z			
0	0.106	4.42	56	10	-2	Der. Giro temporal superior	BA22	252
	0.106	4.16	62	12	4	Der. Giro precentral	BA44	
0.02	0.82	3.63	58	-20	16	Der. Giro postcentral	BA40	153
	0.987	3.26	60	-22	26	Der. Lóbulo parietal inferior	BA40	
	0.988	3.26	54	-12	14	Der. Giro postcentral	BA43	

Las áreas en donde se observaron activaciones con el estímulo que demanda la regla o decisión más fácil incluyen los giros precentral y postcentral derechos (BA 6/2) del lóbulo frontal y parietal, respectivamente. Los resultados en la toma de decisiones para la regla fácil en comparación con la no-decisión se muestran en la figura 13 y en la tabla 7.

Tabla 7. Se muestran las áreas de Brodmann y las áreas anatómicas con sus correspondientes coordenadas y el número de voxeles donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones ante las reglas fáciles en la Tarea de Respuestas Guiadas por Reglas Arbitrarias Abstractas para los dos grupos en la línea base.

Cluster p(nc)	Voxel FDR	Valor Z Voxel	Coordenadas			Regiones	Área de Brodmann	Tamaño cluster
			x	y	z			
0.037	0.247	3.94	62	-12	44	Der. Giro precentral	BA6	112
	0.247	3.42	62	-20	46	Der. Giro postcentral	BA2	
	0.247	3.17	52	-22	48	Der. Giro postcentral	BA2	

### Efecto de la interrupción de sueño NMOR

La comparación entre la línea base y las interrupciones de sueño NMOR en la toma de decisiones para todas las reglas, para las reglas difíciles y para la fácil se muestran en la figura 14 y en la tabla 8. Para la toma de decisiones ante todas las reglas hubo solamente mayor desactivación que en la LB en el precuneus del hemisferio izquierdo (BA7).

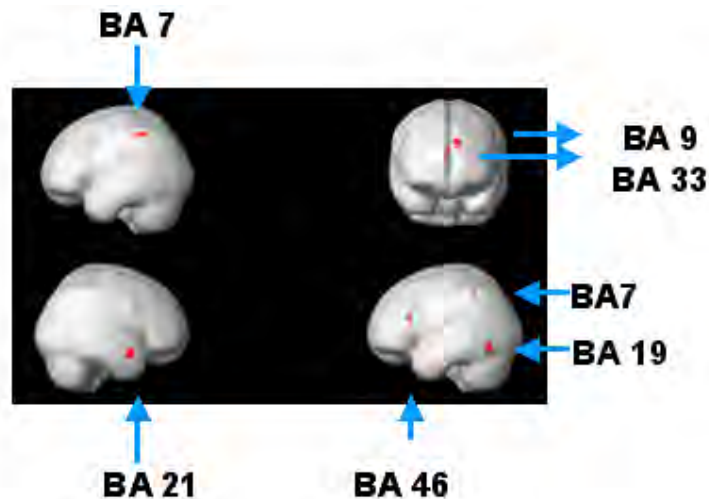


Figura 14. Áreas donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones ante todas las reglas (arriba izq.), ante las reglas difíciles (arriba der.) y ante las reglas fáciles (abajo) en la Tarea de Respuestas Guiadas por Reglas Arbitrarias Abstractas entre la línea base y las interrupciones en NMOR.

La comparación entre la línea base y las interrupciones de sueño NMOR para las reglas difíciles mostró una disminución de la activación en el cíngulo anterior derecho (BA33) y en el giro frontal medial izquierdo (BA 9).

Para la regla fácil se observaron desactivaciones del giro frontal medio izquierdo (BA 46), el giro fusiforme izquierdo (BA 19), el precuneus izquierdo (BA 7) y el giro temporal medio derecho (BA 21).

Tabla 8. Se muestran las áreas de Brodmann y las áreas anatómicas con sus correspondientes coordenadas y el número de voxeles donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones ante todas las reglas, ante las reglas difíciles y ante la regla fácil en la Tarea de Respuestas Guiada por Reglas Arbitrarias Abstractas en donde se observaron desactivaciones para la interrupción en sueño NMOR en comparación con la línea base.

Cluster p(nc)	Voxel FDR	Valor Z Voxel	Coordenadas			Regiones	Área de Brodmann	Tamaño cluster
			x	y	z			
Todas las reglas								
0.031	0.548	4.64	-10	-50	50	Izq. Precuneus	BA7	24
0.052	0.548	3.66	-30	-46	48	Izq. Precuneus	BA7	19
Reglas difíciles								
0.047	1.0	3.84	4	18	20	Der. Cíngulo anterior	BA33	20
0.026	1.0	3.82	-8	40	32	Izq. Giro frontal medio	BA9	26
Reglas fáciles								
0.015	0.469	4.29	-52	-68	-14	Izq. Giro fusiforme	BA19	30
0.02	0.469	3.78	-6	-52	44	Izq. Precuneus	BA7	27
0.003	0.469	3.54	60	6	-18	Der. Giro temporal medio	BA21	51
0.051	0.469	3.52	-50	24	22	Izq. Giro frontal medio	BA46	18

#### Efecto de la privación de MOR

No se encontraron activaciones significativas entre antes y después de la privación de MOR durante la toma de decisiones ante todas las reglas.

No se encontraron activaciones significativas entre antes y después de la privación de MOR para las reglas difíciles.

Puede verse que para la regla fácil aumenta la activación en el giro temporal superior izquierdo (BA39) después de la privación de MOR en la figura 15 y en la tabla 9.

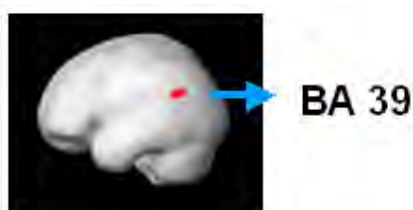


Figura 15. Área donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la Tarea de Respuestas Guiadas por Reglas Arbitrarias Abstractas en la toma de decisión ante la regla fácil entre la línea base y la privación de sueño MOR.

Tabla 9. Se muestra el área de Brodmann y el área anatómica con sus correspondientes coordenadas y el número de voxeles donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones ante la regla fácil en la Tarea de Reglas Arbitrarias Abstractas y en donde se observó la activación para la privación de sueño MOR (PMOR) en comparación con la línea base.

Cluster p(nc)	Voxel FDR	Valor Z Voxel	Coordenadas			Regiones	Área de Brodmann	Tamaño cluster
			x	y	z			
Regla fácil								
0.04	0.336	4.58	-52	-58	24	Izq. Giro temporal superior	BA39	61

## **B) Reactividad emocional**

### **f) Tarea de Respuestas Defensivas (TRED)**

#### **Resultados conductuales**

##### Efecto de las interrupciones de sueño NMOR

Como puede verse en la figura 16, las interrupciones de sueño NMOR no produjeron ninguna diferencia significativa en la decisión de disparar “balas” o de no hacer “nada”, hubo menos omisiones ( $p < 0.03$ ) y la decisión al disparar “balas” fue más rápida después de la noche de interrupciones ( $p < 0.05$ ). Los tiempos de reacción para no hacer “nada” no se modificaron.

##### Efecto de la privación de sueño MOR

Como puede verse en la figura 16, el grupo privado de MOR decidió “disparar una bala” con mayor frecuencia ( $p < 0.0009$ ) y la decisión fue más rápida ( $p < 0.03$ ) después de la privación de MOR que antes de la privación. La frecuencia en la decisión de no hacer “nada” disminuyó ( $p < 0.007$ ) pero el tiempo de reacción no se modificó. Las omisiones también disminuyeron después del tratamiento ( $p < 0.01$ ).

La comparación entre los dos grupos después de los tratamientos mostró que el grupo privado de MOR disparó mayor número de balas que el de interrupciones de sueño NMOR ( $p < 0.04$ ) y la decisión la tomaron igual de rápido pues el TR no fue significativamente diferente entre los dos grupos.

Ocho de los 12 sujetos privados de MOR dispararon a las imágenes agradables después de la privación, y tres de siete lo hicieron después de las interrupciones de sueño NMOR.



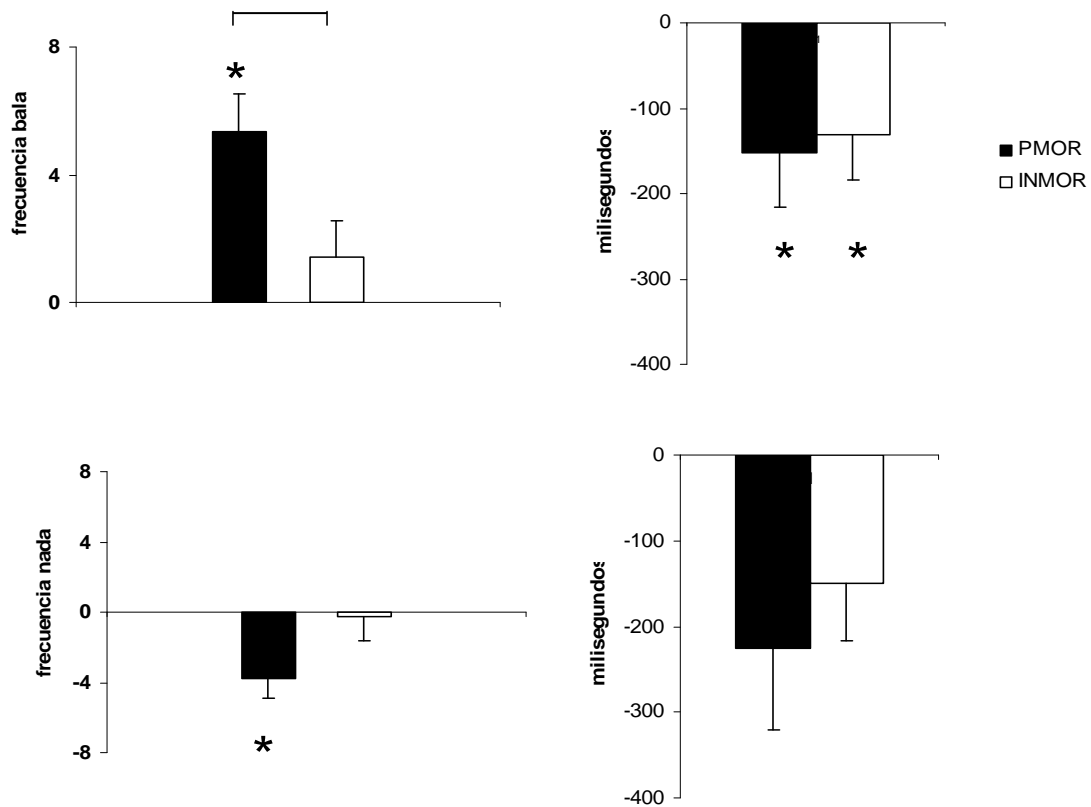


Figura 16. Promedio y error estándar de la diferencia de la elección de “bala” y de la elección de “nada” y el tiempo de reacción en la Tarea de Respuestas Defensivas antes (línea cero) y después del tratamiento experimental para el grupo privado de sueño MOR (PMOR) y el grupo control de interrupciones en sueño NMOR (INMOR). Los asteriscos señalan que las medias son significativamente diferentes de cero. La línea horizontal sobre las barras señala diferencias significativas entre los dos grupos. Obsérvese el aumento significativo de la respuesta de bala y la disminución de la respuesta de nada exclusivamente en el grupo de PMOR y la disminución en el tiempo de reacción de ambos grupos al escoger bala.

### Actividad metabólica cerebral ante la toma de decisiones emocional

Línea base

La figura 17 muestra las áreas activadas en todo el grupo ( $n = 19$ ) ante la toma de decisiones emocional al decidir disparar o al decidir no disparar la primera vez que ejecutaron la tarea después de la noche de LB: se observaron grandes activaciones en regiones cerebrales frontales y posteriores.

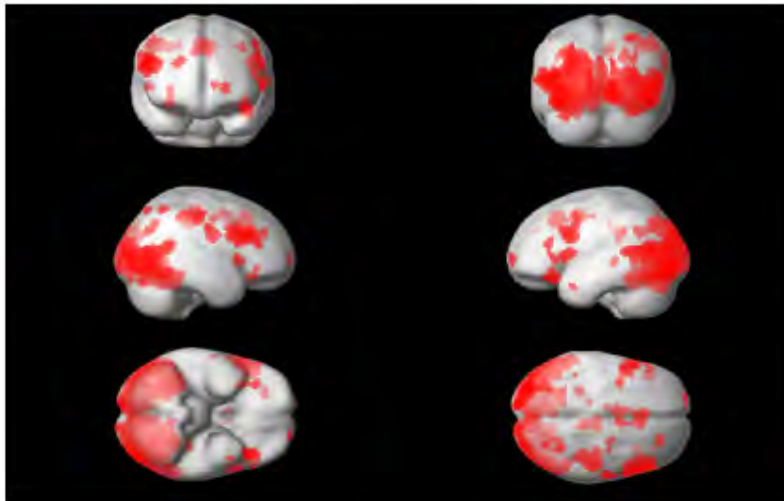


Figura 17. Área donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la Tarea de Respuestas Defensivas durante la toma de decisiones emocional en la línea base en todo el grupo ( $n=19$ ). Se observan grandes activaciones cerebrales frontales y posteriores.

### Efecto de la interrupción de sueño NMOR

La figura 18 y la tabla 10 muestran los resultados de los contrastes entre la línea base y la segunda vez que la tarea fue ejecutada por el grupo control después de las interrupciones de sueño NMOR. Las regiones que se activaron la primera vez que no se activaron en la segunda vez, no importando la decisión tomada, fueron observadas bilateralmente en el lóbulo frontal en la parte anterior de los giros frontales superior y medio (BA11), y en los giros derechos frontales inferior y medio (BA45/46). El giro fusiforme derecho (BA20) también se desactivó. Las áreas desactivadas en el hemisferio izquierdo fueron los giros del parahipocampo y el giro temporal medio (BA21) y el lóbulo parietal inferior (BA40).

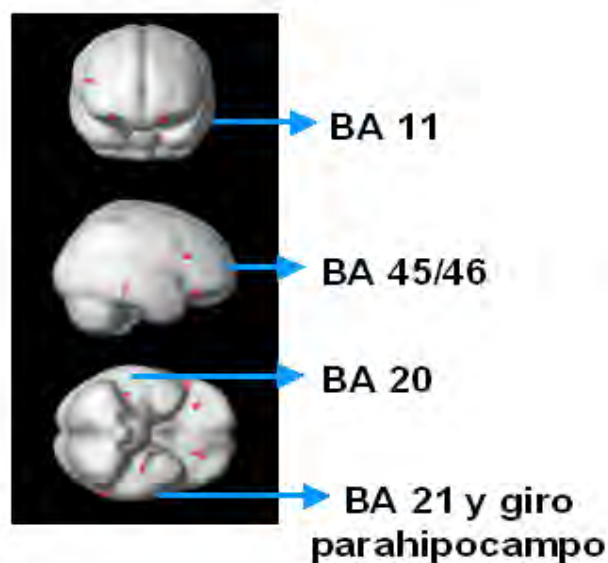


Figura 18. Áreas donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones emocional en la Tarea de Respuestas Defensivas entre la línea base y el grupo control de interrupción en NMOR.

En cambio, el tálamo izquierdo mostró un aumento en la activación la segunda vez (tabla 10).

Tabla 10. Se muestran las áreas de Brodmann y las áreas anatómicas con sus correspondientes coordenadas y el número de voxeles donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones en la Tarea de Respuestas de Defensa antes (LB) y después de la interrupción en sueño NMOR (INMOR).

Cluster p(nc)	Voxel FDR	Valor Z Voxel	Coordenadas			Regiones	Área de Brodmann	Tamaño cluster
			x	y	z			
<b>LB&gt;INMOR</b>								
0	0.464	4.25	54	26	22	Der. Giro frontal inferior	BA45	15
0	0.464	3.88	46	22	20	Der. Giro frontal medio	BA46	
0	0.464	4.15	28	34	-16	Der. Giro frontal medio	BA11	15
0	0.464	4.02	-40	-54	38	Izq. Lóbulo parietal inferior	BA40	14
0	0.464	3.93	-24	40	-22	Izq. Giro frontal superior	BA11	16
0	0.464	3.78	42	-36	-14	Der. Giro fusiforme	BA20	15
0	0.464	3.63	-38	-18	-22	Izq. Subgiro	BA20	16
0	0.464	3.26	-32	-20	-12	Izq. Giro del parahipocampo	Hipocampo	
0	0.464	3.56	-62	-58	8	Izq. Giro temporal medio	BA21	21
<b>LB&lt;INMOR</b>								
0	1	3.56	-10	-16	10	Izq. Tálamo	Núcleo dorsomedial	17

### Efecto de la privación de sueño MOR

No se observaron activaciones la segunda vez que se realizó la tarea después de la privación de sueño MOR; mientras que el giro cingulado izquierdo anterior (BA32) y posterior (BA30, BA31) se desactivaron como se muestra en la figura 19 y la tabla 11. No se observaron cambios significativos en las regiones que se desactivaron la segunda vez en el grupo control en regiones frontales, temporales y parietales.



Figura 19. Áreas donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones emocional en la Tarea de Respuestas de Defensa entre la línea base y el grupo privado de sueño MOR.

Tabla 11. Se muestran las áreas de Brodmann y las áreas anatómicas con sus correspondientes coordenadas y el número de voxeles donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones en la Tarea de Respuestas Defensivas donde la activación es mayor antes (LB) que después de la privación de sueño MOR (PMOR).

Cluster p(nc)	Voxel FDR	Valor Z Voxel	Coordenadas			Regiones	Área de Brodmann	Tamaño cluster
			x	y	z			
LB>PMOR								
0	0.823	3.64	-2	-50	20	Izq. Cíngulo posterior	BA30	25
0	0.823	3.58	-24	-38	38	Izq. Giro cingulado	BA31	13
0	0.823	3.38	-12	30	-10	Izq. Cíngulo anterior	BA32	18

El contraste entre los dos grupos mostró mayor activación después de la privación de sueño MOR que después de las interrupciones en NMOR (figura 20 y tabla 12) en el giro frontal inferior (BA45), y en el giro temporal inferior (BA37) y medio (BA21), y en el precuneus (BA19) del hemisferio derecho; mientras que el giro occipital medio izquierdo (BA19) estuvo más activo en el grupo de interrupciones que en el grupo de privación de sueño MOR; esta última activación estuvo presente desde el inicio en el grupo control de interrupciones de sueño NMOR y no se observaron diferencias significativas entre antes y después del tratamiento.

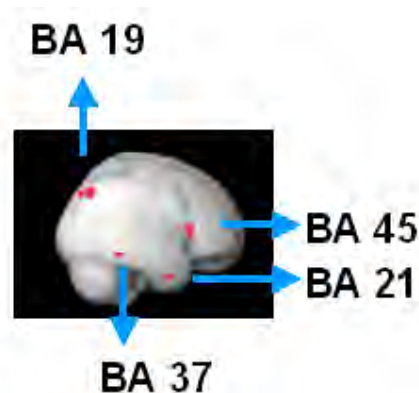


Figura 20. Áreas donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones emocional en la Tarea de Respuestas de Defensa en el grupo privado de sueño MOR en contraste con el grupo de interrupciones de sueño NMOR.

Tabla 12. Se muestran las áreas de Brodmann y las áreas anatómicas con sus correspondientes coordenadas y el número de voxels donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones en la Tarea de Respuestas de Defensa donde la activación es mayor o menor después de la privación de sueño MOR (PMOR) que después de la interrupción en sueño NMOR (INMOR).

Cluster p(nc)	Voxel FDR	Valor Z Voxel	Coordenadas			Regiones	Área de Brodmann	Tamaño cluster
			x	y	z			
<b>INMOR&lt;PMOR</b>								
0	0.66	4.12	32	-72	42	Der. Precuneus	BA19	50
0	0.66	3.52	24	-80	42	Der. Precuneus	BA19	
0	0.66	3.51	58	-44	-16	Der. Giro temporal inferior	BA37	11
0	0.66	3.48	48	22	8	Der. Giro frontal inferior	BA45	27
0	0.66	3.46	44	2	-34	Der. Giro temporal medio	BA21	11
<b>INMOR&gt;PMOR</b>								
0	0.99	3.59	-24	-88	6	Izq. Giro occipital medio	BA19	27

### Actividad metabólica cerebral ante la toma de decisiones de disparar

Línea base

La figura 21 y la tabla 13 muestran los resultados del contraste entre decidir disparar y no disparar en la LB para todo el grupo. Con la decisión de “disparar una bala” se observó la activación de la corteza prefrontal ventrolateral (CPFVL) (BA 45/47) y de una región posterior de los giros temporales medio y superior (BA 39/22) del hemisferio derecho. No hubo activaciones significativas cuando la decisión fue “nada” o no disparar.



Figura 21. Áreas donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones emocional de disparar en contraste con no disparar en la Tarea de Respuestas Defensivas en todo el grupo (n=19) en la línea base.

Tabla 13. Se muestran las áreas de Brodmann y las áreas anatómicas con sus correspondientes coordenadas y el número de voxeles donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la línea base al tomar la decisión de disparar una bala en contraste a no hacer nada en la Tarea de Respuestas de Defensa en todos los sujetos.

Cluster p(nc)	Voxel FDR	Valor Z Voxel	Coordenadas			Regiones	Área de Brodmann	Tamaño cluster
			x	y	z			
0.007	0.35	4.02	50	22	10	Der. Giro frontal inferior	BA45	225
	0.35	3.84	54	28	4	Der. Giro frontal inferior	BA45	
	0.35	3.19	48	30	-6	Der. Giro frontal inferior	BA47	
0.02	0.35	3.56	58	-62	10	Der. Giro temporal medio	BA39	140
	0.35	3.39	62	-54	10	Der. Giro temporal superior	BA22	

### Efecto de la interrupción de sueño NMOR al decidir disparar

Cuando el grupo control ejecutó la Tarea de Respuestas Defensivas la segunda vez hubo una mayor desactivación cuando escogieron disparar una bala comparado a cuando decidieron no disparar una bala en el giro prefrontal medio izquierdo (BA 10) (figura 22).



Figura 22. Áreas donde la respuesta BOLD alcanzó el umbral de probabilidad en la toma de decisiones emocional en la Tarea de Respuestas Defensivas del grupo de interrupciones de sueño NMOR (izq.) y del grupo privado de sueño MOR (der.).

### Efecto de la privación de sueño MOR al decidir disparar

El contraste entre disparar una bala y no disparar una bala mostró una mayor activación cuando se dispara una bala después de la privación de sueño MOR en el giro occipital medio izquierdo (BA 18/19) (figura 22).

La única diferencia significativa entre los dos grupos después de los tratamientos experimentales fue una mayor desactivación en el grupo control en el giro frontal inferior derecho (BA 45) cuando la decisión tomada fue no disparar.

**g) Tarea de Evaluación Subjetiva de la Emoción (TESE)**

Las respuestas de todos los sujetos ante cada imagen durante la línea base se sometieron a un Análisis de Componentes Principales (ACP) con el fin de reducir las variables. El ACP identificó dos componentes principales que explicaron el 81.26% de la varianza total. El primer componente explicó el 58.93% de la varianza y estuvo formado por adjetivos que denotan emociones desagradables: asustado, enojado, inquieto, tenso, triste e intranquilo. El segundo componente explicó el 22.33% de la varianza y está integrado por los adjetivos que denotan emociones agradables y atención: feliz, excitado, atento, por lo que de aquí en adelante se les llamará componente de desagrado y de agrado, respectivamente.

Se comparó la respuesta emocional subjetiva ante las imágenes agradables y las desagradables, y entre la LB y el tratamiento mediante ANOVAs de medidas repetidas (2 x 2) para cada componente y para cada grupo por separado con los puntajes de los componentes.

De acuerdo con lo que se esperaba, el componente de desagrado fue significativamente mayor para las imágenes desagradables que para las agradables, tanto para el grupo privado de MOR ( $p < 0.0001$ ) como para el grupo de interrupciones de NMOR ( $p < 0.0001$ ). El componente de agrado, en cambio, fue significativamente mayor para las imágenes agradables que para las desagradables para los dos grupos ( $p < 0.0001$  en ambos). El tratamiento, ya sea privación de MOR o interrupciones de NMOR no modificó significativamente la respuesta emocional de ninguno de los dos componentes ante las imágenes agradables ni ante las desagradables.

Las comparaciones entre tratamientos no mostraron diferencias significativas entre los grupos en ninguno de los componentes.



En resumen, la privación de una noche de sueño MOR afectó selectivamente las siguientes funciones ejecutivas, que no se vieron afectadas en el grupo control:

- La capacidad para aplicar una regla arbitraria abstracta; después de la privación de MOR aumentó el número de errores (TRERA).

- Aumentó el número de disparos en la Tarea de Respuestas Defensivas (TRED).

- A nivel metabólico, la privación de sueño MOR provocó, en ambas tareas, la reactivación cerebral de las mismas áreas que se activaron la primera vez, y que en el grupo control, la segunda vez disminuyeron la activación.

- Aumentó la actividad metabólica en el área de asociación visual izquierda en la Tarea de Respuestas Defensivas (TRED).

La privación de una noche de sueño MOR no afectó la siguiente función ejecutiva:

- El pensamiento divergente (FAS).

Tanto la privación de sueño MOR como las interrupciones de sueño NMOR afectaron:

- La integración de dos conocimientos de secuencias lógicas verbales y no verbales (TAINSEL-INTEG).

Ni la privación de sueño MOR ni las interrupciones de sueño NMOR afectaron:

- La retención de reglas de secuencias lógicas verbales y espaciales (TAINSEL-V y TAINSEL-NV).

- La atención sostenida visual (VISART).

- La flexibilidad de pensamiento (WCST).

- La respuesta emocional subjetiva (TESE).

## DISCUSIÓN

En el presente estudio examinamos el impacto de una noche de privación selectiva casi total de sueño MOR sobre la ejecución y la actividad metabólica cerebral de funciones ejecutivas y de toma de decisiones emocionales. Los principales hallazgos del presente trabajo son que después de la privación de sueño MOR la capacidad de tomar decisiones, tanto racionales como emocionales, se afecta, lo mismo que la capacidad de integración y de aplicación novedosa de información adquirida separadamente el día anterior. La toma de decisiones, tanto racionales como emocionales requirió el mismo nivel de activación cerebral que la primera vez que se realizaron las tareas en comparación con el grupo control que mostró una desactivación. La privación de MOR provocó mayor activación en áreas izquierdas de asociación visual.

Una de las hipótesis planteadas en esta investigación, es que la privación de sueño MOR disminuiría la capacidad de integrar conocimientos adquiridos previamente por separado y su aplicación en una situación novedosa. Esta propuesta se derivó de las evidencias de la fisiología que muestran que durante el sueño MOR hay activación endógena (Jouvet, 1962), y mayor acoplamiento temporal entre regiones corticales en el gato (Steriade y Amzica, 1996), y entre los dos hemisferios en el ser humano (Corsi y cols., 1987), lo que favorece la capacidad cerebral de integración de redes funcionales separadas. Los resultados encontrados en la Tarea de Integración Novedosa de Secuencias Lógicas después de una noche de privación casi total y selectiva de sueño MOR muestran que disminuyó la capacidad para integrar dos conocimientos adquiridos previamente por separado y para aplicarlos de manera combinada en una situación nueva (TAINSEL-INTEG), sin que disminuya la retención de cada uno de estos conocimientos por separado. La retención del conocimiento de la regla verbal (TAINSEL-V), no solamente no se vio afectada, sino que mejoró después de la privación de MOR; la retención de la regla no-verbal (TAINSEL-NV) no se facilitó pero tampoco se vio afectada. Estos resultados muestran que la capacidad de integración entre dos procesamientos diferentes de la información que involucran sistemas cerebrales distintos, en este caso el hemisferio izquierdo y el derecho, se ve

entorpecida y sugieren que la integración de conocimientos y su aplicación en forma novedosa requiere de las condiciones cerebrales de activación y de acoplamiento interhemisférico que facilitan la distribución de patrones funcionales a redes más amplias, y que proporciona todas las noches el sueño MOR, de tal forma que la falta de éste impide que se lleven a cabo de manera eficiente. Los resultados son consistentes con el planteamiento de un efecto de la privación de sueño MOR sobre la integración de la información más que sobre la memoria (Gaarder, 1966; Newman y Evans, 1965; Corsi, 1983). Sin embargo, la dificultad de integración parece no ser exclusiva de la privación del sueño MOR, dado que la capacidad de integración también se vio afectada en el grupo control. Este resultado señala que un sueño interrumpido también afecta la capacidad de integración de conocimientos separados y sugiere que el sueño NMOR participa en la integración de la información, lo cual está de acuerdo con el incremento en el acoplamiento interhemisférico que también se observa durante el sueño NMOR (Corsi-Cabrera et al., 1987; Corsi-Cabrera et al., 1989) y con los resultados obtenidos en investigaciones en animales que muestran durante el sueño NMOR la reactivación de patrones neuronales adquiridos durante la vigilia (Wilson y McNaughton, 1994), así como en estudios en humanos en los que se observa que el sueño NMOR favorece la adquisición de insight (Maquet et al., 2002). Sin embargo, con los resultados de este trabajo no es posible asegurar la participación del sueño NMOR, dado que, en el grupo control hubo dos sujetos que no lograron nunca el nivel de ejecución (80% de correctas). Para aclarar ese efecto serían necesarias investigaciones futuras.

Otra de las hipótesis planteadas en esta investigación, es que la privación de sueño MOR afectaría funciones ejecutivas que dependen de la corteza prefrontal, tales como flexibilidad, pensamiento divergente y conducta guiada por reglas, específicamente la capacidad para seleccionar una respuesta adecuada al contexto y frenar la respuesta habitual siguiendo una regla arbitraria abstracta. Esta propuesta se derivó, por un lado, de las evidencias clínicas y experimentales, que muestran el papel crucial que juega la corteza prefrontal dorsolateral en las funciones ejecutivas (Luria, 1970/1979; Guitton et al., 1985; Fuster, 1988, 1999) y de las evidencias que muestran desactivación de la corteza prefrontal dorsolateral (Braun et al., 1997; Maquet

et al., 1996), además de desacoplamiento temporal entre ésta y las regiones posteriores de asociación durante el sueño MOR (Pérez-Garci et al., 2001; Corsi et al., 2003). Después de la noche de privación de sueño MOR se deterioró la ejecución de la modalidad compleja de la tarea de reglas arbitrarias abstractas (TRERA), ya que aunque la decisión se tomó más rápido después de la privación de MOR, lo que podría sugerir una mejoría, se cometieron más errores y el aumento en la velocidad ocurrió en las decisiones difíciles y no en las fáciles.

La dificultad en la toma de decisiones y la selección de la respuesta correcta a una regla arbitraria abstracta en la prueba de respuestas guiadas por reglas después de la privación de sueño MOR no se debió a falta de motivación para ejecutar la prueba como lo demuestra la ausencia de omisiones en las respuestas, ni a una disminución en el nivel de alerta, como lo demuestra la ejecución en la tarea de atención sostenida, ni a mayor lentitud en las respuestas como lo demuestran los tiempos de reacción en la versión simple de la prueba. Los resultados sugieren una precipitación en la toma de decisiones en situaciones que demandan el monitoreo de la pertinencia de una respuesta a una situación particular.

Las regiones cerebrales activadas en todo el grupo durante la toma de decisiones en la LB, estuvieron integradas por un amplio conjunto de áreas desde la ínsula hasta el giro postcentral (BA 40/BA 43) correspondiente a la región parietal y el giro temporal superior (BA 22) del hemisferio derecho. La activación de estas regiones es consistente con resultados que demuestran que la ínsula y la región postcentral, por su relación con la corteza prefrontal dorsolateral, se activan en tareas guiadas por reglas participando en la integración de la correspondencia o no entre el estímulo blanco y las claves que anteceden al estímulo y que señalan la regla a seguir (Bhanji et al, 2010). La región temporal superior derecha (BA 22) participa en este tipo de tareas cuando se requiere la activación de mecanismos de la memoria de trabajo (Bunge et al., 2008). Para el seguimiento de reglas difíciles en la modalidad compleja de la tarea, se activó en forma adicional a las áreas mencionadas la región prefrontal ventrolateral derecha (BA 44), lo cual confirma una mayor participación prefrontal para decisiones difíciles (Bunge et al., 2008) y está de acuerdo con los resultados obtenidos en un estudio paralelo (Muñoz-Torres et

al., enviado). La coincidencia entre las regiones activas por todos los estímulos y las reglas difíciles indica que gran parte de la activación total fue debida a los requerimientos de la regla difícil. La activación para la regla fácil, en cambio, se localizó en los giros precentral y postcentral derechos (BA 6/2) de los lóbulos frontal y parietal derechos, lo que habla de una facilitación a nivel promotor y de procesos somatosensoriales, resultado que está de acuerdo con el proceso espacial de toma de decisiones (Bunge et al., 2008).

La segunda vez que el grupo control ejecutó la tarea, disminuyó la activación en el precuneus izquierdo (BA 7) durante la toma general de decisiones. Durante las reglas difíciles, se desactivaron el cíngulo anterior derecho (BA 33) y el giro frontal medial izquierdo (BA 9). Después de la privación de sueño MOR, no se observaron diferencias significativas en la activación cerebral para la toma de decisiones o para las decisiones ante las reglas difíciles. Estos resultados sugieren que la segunda vez que se ejecuta la tarea en las condiciones del grupo control ya no se requiere de la activación de regiones prefrontales dorsolaterales, o del cíngulo, mientras que después de la privación de MOR se sigue necesitando el mismo nivel de activación la segunda vez y aún así se cometieron más errores.

La decisión ante la regla fácil en el grupo control desactivó el giro frontal medio izquierdo (BA 46), el giro fusiforme izquierdo (BA 19) y el precuneus izquierdo (BA 7), así como el giro temporal medio derecho (BA 21). En cambio, después de la privación de sueño MOR, la regla fácil activó el giro temporal superior izquierdo (BA 39) en comparación con la línea base.

Otras funciones ejecutivas no se afectaron por la privación de sueño MOR, como la fluidez verbal, o incluso mostraron una mejoría como la flexibilidad del pensamiento.

Los resultados de las funciones ejecutivas evaluadas muestran en su conjunto que los efectos de la privación de una noche de sueño MOR no afecta todas las funciones ejecutivas, sino aquéllas que requieren el procesamiento secuencial y alterno de información que demandan la aplicación de información adquirida previamente en una situación novedosa (TAINSEL-INTEG) así como las que requieren el control en la selección de respuestas cognitivas complejas (TRERA).

Con base en las evidencias que demuestran un incremento en la activación en las regiones límbicas y paralímbicas paralelamente a una desactivación de la corteza prefrontal ventrolateral durante el sueño MOR, en este trabajo se planteó también que la privación de sueño MOR produciría un incremento en la excitabilidad emocional que modificaría la capacidad de control de la corteza prefrontal sobre la toma de decisiones emocionales, que derivaría en respuestas más impulsivas.

Después de la privación de una noche de sueño MOR la frecuencia de “disparos” en la prueba de defensa aumentó significativamente respecto a la línea base y al grupo control y la activación del área de asociación visual izquierda aumentó cuando la decisión fue “disparar”.

Las regiones activadas por la tarea de defensa en el grupo de interrupciones en NMOR en la línea base estuvieron localizadas en áreas típicamente implicadas en el control de la conducta emocional. Este patrón de activación está de acuerdo con resultados previos que muestran el papel crucial que juega la corteza prefrontal en la toma de decisiones y la generación de una conducta adaptativa y flexible pertinente al contexto. Como se esperaba para la naturaleza dual de la tarea que demanda integración de la información emocional con las reglas cognitivas/sociales, la toma de decisiones se asoció con una activación robusta en dos de los diferentes circuitos de la corteza prefrontal, en regiones prefrontales orbitales (BA 11) bilateralmente, y en la región ventrolateral derecha (BA 45/47). Las regiones prefrontales orbitales se han relacionado con la selección de respuestas basadas en información emocional/social y en la regulación activa de centros inferiores que controlan conflictos entre las respuestas afectivas en competencia (Davidson, 2002; Sotres-Bayon et al., 2004). La región prefrontal dorsomedial participa en la selección de respuestas guiadas por el razonamiento lógico (Luria 1970/1979; Bunge et al., 2008). La elección de “disparar” una bala sólo activó la región prefrontal ventromedial (BA 45) y los giros temporales medio y superior (BA 39/22), áreas similares a la red que se encuentra en el hemisferio izquierdo para el lenguaje y que en el derecho podría estar relacionada a la emoción.

El giro fusiforme izquierdo también se activó durante la decisión de disparar o no disparar, en forma consistente con trabajos que muestran la activación del giro temporal inferior, especialmente en el giro fusiforme, cuando

las tareas visuales demandan conjuntamente un procesamiento cognitivo y emocional (Geday et al., 2003). La activación predominante del hemisferio derecho es consistente con el papel crucial que juega este hemisferio en la emoción (ver Demaree et al., 2005) y en el procesamiento de la novedad (Martin, 1999).

Las áreas activadas en la línea base también incluyeron el lóbulo parietal inferior izquierdo (BA 40) que participa en el análisis de imágenes visuales complejas (Bradley et al., 2007), el giro del hipocampo y el giro temporal posterior, que participan en la memoria emocional (Sterpenich et al., 2007) y la representación de la información de categorías visuales, respectivamente.

Todas estas áreas, excepto el tálamo mediodorsal izquierdo, claramente y significativamente disminuyeron su activación la segunda vez que la tarea fue ejecutada por el grupo control después de una buena noche de descanso, lo que sugiere que la repetición de la tarea no requirió ya de la activación de las regiones corticales necesarias para controlar los conflictos entre las respuestas emocionales competitivas ni la reactivación de los circuitos de memoria, en forma consistente con la disminución en los tiempos de reacción que se observaron la segunda vez, y sólo requirió de una activación emocional a nivel talámico, en el núcleo dorsomedial, que por sus conexiones corticales y amigdalinas está ampliamente relacionado con la emoción (ver Kober et al., 2008).

En contraste, después de una noche de privación de sueño MOR, todas estas áreas, frontales (BA 45), temporales (BA 21) y posteriores (BA 19), que se desactivaron la segunda vez en el grupo control, se reactivaron en el grupo privado de MOR como si fuera la primera vez y se añadió la desactivación de los giros del cíngulo anterior y posterior. El mismo nivel de activación prefrontal ventrolateral después de la privación de MOR sugiere que la necesidad de seleccionar una respuesta demanda la segunda vez el mismo nivel de esfuerzo/procesamiento de las áreas prefrontales involucradas en la toma de decisiones emocionales y el control de la conducta.

La desactivación del cíngulo anterior puede indicar un aumento del afecto negativo (Phan et al., 2005) y la del cíngulo posterior una disminución de la interacción entre los procesos emocionales y de memoria (Maddock et al., 2003).

La misma intensidad de activación, la primera y la segunda vez que la tarea fue ejecutada por el grupo privado de MOR, en el giro parahipocampal y en el lóbulo temporal, que constituyen un sistema conocido que participa en los procesos de memoria y el reconocimiento de las imágenes complejas (Desimone et al., 1984; Tanaka, 1996) sugiere que la falta de sueño MOR alteró el reprocesamiento o la consolidación del material emocional experimentado el día previo. Esto está de acuerdo con resultados que indican que los periodos ricos en sueño MOR favorecen el procesamiento de la memoria emocional (Wagner et al., 2001; Nishida et al., 2009).

La decisión de “disparar” después de la privación de sueño MOR se asoció con la activación de las áreas visuales secundarias (BA 18/19) del hemisferio izquierdo en relación con la LB y con el grupo control. La activación de las áreas visuales de asociación sugiere un incremento en su excitabilidad provocado por la falta de sueño MOR. El incremento en la excitabilidad podría provocar a su vez una apreciación aumentada del peligro potencial o contenido amenazante. El incremento en la frecuencia de “disparos” sugiere que la falta de sueño MOR altera la habilidad de evaluar en forma correcta el peligro potencial probablemente debido a la mayor excitabilidad de la corteza visual de asociación.

La conducta de mayor enfrentamiento ante estímulos o situaciones amenazantes había sido descrita en animales (Morden et al., 1968; Hicks et al., 1979; Hicks y Moore, 1979; Martínez-González et al., 2004) y en este trabajo se demuestra por primera vez en humanos en la toma de decisiones emocional por el incremento en el número de “disparos” asociados a la activación visual izquierda.

Los mecanismos posibles que ayudan a entender un número más alto de disparos después de la privación de sueño MOR no son excluyentes. Una explicación podría ser que la excitabilidad de la corteza prefrontal y visual se ve directamente afectada por la privación de sueño MOR. Otra podría ser que la mayor excitabilidad en las áreas de asociación visual altera el balance de la activación necesaria entre las áreas frontales de control y las áreas occipitales favoreciendo la atención a situaciones putativas de peligro.

El incremento de la activación metabólica de las áreas de asociación visual inducido por la privación de sueño MOR podría deberse a la falta de los



fenómenos fásicos del sueño MOR. Durante el sueño MOR, el cerebro es bombardeado por activaciones abundantes transitorias, conocidas como potenciales ponto-geniculo-occipitales (PGO), que en el gato se originan en el puente y que se propagan al tálamo, la corteza cerebral (Steriade et al., 1996), y a la amígdala, el giro del parahipocampo, y el cíngulo anterior (Calvo y Fernández-Guardiola, 1984). Aunque en humanos no se han demostrado las PGOs, también se han documentado activaciones pasajeras con una relación cercana en el tiempo con los movimientos oculares. La activación metabólica de la vía visual se correlaciona con la cantidad de movimientos oculares rápidos (Peigneux et al., 2001). La densidad de corriente aumenta unos pocos milisegundos antes de los movimientos oculares rápidos en el puente, la amígdala, la circunvolución del cíngulo y la corteza orbitofrontal (Ioannides et al., 2004). Los movimientos oculares rápidos están precedidos y seguidos por incrementos de la actividad gamma (del Río-Portilla et al., 2008; Nishida et al., 2009) y por activaciones sincronizadas que vinculan al sistema de la atención de la corteza frontal derecha con el giro cingulado (Corsi-Cabrera et al., 2008). Estas activaciones pasajeras que normalmente ocurren durante el sueño MOR pueden permitir la descarga coordinada de la excitabilidad que se mantiene bajo control por los centros superiores durante la vigilia (Corsi, 1983), favoreciendo la regulación o “down-scaling” de las sinapsis para el día siguiente, de forma similar a como se ha propuesto para el sueño NMOR (Tononi y Cirelli, 2005). Cuando esa posibilidad se impide debido a la privación de sueño MOR, la excitabilidad de estas estructuras se mantiene en un nivel elevado, y como consecuencia se altera la excitabilidad neuronal.

La alta excitabilidad de estas estructuras podría explicar el mismo nivel de activación antes y después de la privación de sueño MOR, a diferencia de las desactivaciones encontradas para el grupo de interrupciones en sueño NMOR.

Un resultado sorprendente ha sido la falta de deterioro en la mayoría de las pruebas después de las interrupciones repetidas del sueño NMOR a pesar de que se han reportado déficits en algunas tareas con un sueño de mala calidad. La conducta guiada por reglas arbitrarias abstractas, la ejecución en la prueba de WCST y la atención sostenida, no se afectaron y la fluidez verbal no solamente no empeoró, sino que mejoró. La respuesta defensiva-agresiva no

se modificó e incluso tomaron la decisión más rápido. Estos resultados se deben probablemente a que la arquitectura de sueño, no se vio afectada y a la juventud de los sujetos participantes. Esto demuestra la capacidad de adaptación del organismo a condiciones desfavorables de sueño. La capacidad de integración de conocimientos separados sí se vio afectada y sugiere que el sueño NMOR también participa en la integración de la información. Esta función ha sido propuesta para las ondas lentas y los *ripples* o rizados del sueño NMOR (Wilson y McNaughton, 1994) y está de acuerdo con la reactivación durante el sueño NMOR de patrones neuronales adquiridos durante la vigilia (Wilson y McNaughton, 1994) y con el incremento en el acoplamiento interhemisférico durante el sueño NMOR (Corsi-Cabrera et al., 1987; Corsi-Cabrera et al., 1989).

Los cambios en la ejecución y en la actividad metabólica cerebral después de la privación de sueño MOR podrían atribuirse al orden de las condiciones experimentales, siempre primero la línea base y después la privación de MOR, sin embargo, el mismo orden se mantuvo en el grupo control, primero la línea base y después las interrupciones de sueño. La ausencia de cambios en el grupo control parece indicar que los cambios observados después de la privación de sueño MOR no se deben al orden de las evaluaciones.

## **CONCLUSIÓN**

En conclusión, la privación casi total y selectiva de sueño MOR por una noche afecta la capacidad de alcanzar soluciones novedosas a partir de la integración de conocimientos adquiridos por separado, la capacidad para seleccionar respuestas de acuerdo con una regla arbitraria abstracta y la habilidad para tomar decisiones defensivas-agresivas. La toma de decisiones, tanto racionales como emocionales requirió el mismo nivel de activación cerebral que la primera vez que se realizaron las tareas en comparación con el grupo control que mostró desactivaciones. La privación de MOR provocó mayor activación en áreas izquierdas de asociación visual durante la ejecución de las tareas. Estos resultados sugieren que el sueño MOR es necesario para la restauración de los sistemas ejecutivo y emocional del cerebro.

#### IV. REFERENCIAS

- Albert, I., Cicala, G., A., Siegel, J. (1970). *The behavioral effects of sleep deprivation in rats*. *Psychophysiology*, 6, 550-560.
- Amzica, F., Steriade, M. (1996). *Progressive cortical synchronization of ponto-geniculo-occipital potentials during rapid eye movement*. *Neuroscience*, 72, 2, 309-314.
- Annet, M., (1967). *The binomial distribution of rights mixed and left-handedness*. *Quarterly journal of experimental psychology*, 61, 303-321.
- Ardila, A., Rosselli, M., Puente, A. (1994). *Neuropsychological evaluation of the spanish speaker*. Plenum Press, USA.
- Aserinsky, E., Kleitman, N. (1953). *Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena, during sleep*. *Science*, 118, 273-274.
- Banks, S.J., Eddy, K.T., Anstadt, M., Nathan, P., Luan, K.P. (2007). *Amygdala-frontal connectivity during emotion*.
- Beauregard, M., Lévesque, J., Bourgouinm P. (2001). *Neural correlates of conscious self-regulation of emotion*. *The journal of neuroscience*, 21, RC165.
- Beck, AT., Ward, CH., Mendelson, M., Mock, Erbaugh, J. (1961). *An inventory for measuring depression*. *Archives of general psychiatry*, 4, 561-571.
- Benedito, M.A., Camarini, R. (2001). *Rapid eye movement (REM) sleep deprivation induces an increase in acetylcholinesterase activity in discrete rat brain regions*. *Brazilian Journal of medicine and biology research*, 34, 103-109.
- Bhanji, J.P., Beer, J.S., Bunge, S.A. (2010). *Taking a gamble or playing by the rules: dissociable prefrontal systems implicated in probabilistic versus deterministic rule-based decisions*. *Neuroimage*, 49, 1810-1819.
- Bonnet, M. H. (2000). *Sleep deprivation*. Capítulo en Kryger, M. H., Roth, T., Dement, W.C., y cols. (2000) *Principles and practice of sleep medicine*. W.B. Saunders Company, 3<sup>era</sup> edición, EUA.
- Bradley, M.M., Hamby, S., Löw, A., Lang, P.J. (2007). *Brain potentials in perception: picture complexity and emotional arousal*. *Psychophysiology*, 44, 364-373.
- Braun, A., Balkin, T., Wesenten, N., Carson, R., Varga, M., Baldwin, P., Selbie, S., Belenky, G., Herscovitch, P. (1997). *Regional cerebral blood flow throughout the sleep-wake cycle. An H15 2 O PET study*. *Brain*, 120, 1173-1197.

Bunge, S.A., Wallis, J. (2008). (editores). *Neuroscience of rule-guided behavior*. Oxford University Press, USA.

Calvo, J.M., Badillo, S., Morales-Ramírez, M., Palacios-Salas, P. (1987). *The role of the temporal lobe amygdala in ponto-geniculo-occipital activity and sleep organization in cats*. Brain research, 403, 22-30.

Calvo, J. M., Fernández Guardiola, A. (1984). *Phasic activity of the basolateral amygdala, cingulate gyrus, and hippocampus during REM sleep in the cat*. Sleep, 7, 202-10.

Calvo, J.M., Simón-Arceo, K., Fernández-Mas, R. (1996). *Prolonged enhancement of REM sleep produced by carbachol microinjection into the amygdala*. Neuroreport, 7, 577-580.

Camarini, R., Benedito, M.A. (1997). *Rapid eye movement (REM) sleep deprivation reduces rat frontal cortex acetylcholinesterase (EC 3.2.1.7) activity*. Brazilian Journal of medicine and biology research, 30, 641-647.

Campo, P., Maestú, F., Capilla, A., Morales, M., Fernández, S., del Río, D., Ortiz, T. (2008). *Temporal dynamics of parietal activity during word-location binding*. Neuropsychology, 22, 85-99.

Cohen, H.B., Dement, W. (1965). *Sleep: changes in threshold to electroconvulsive shock in the rats after deprivation of paradoxical phase*. Science, 150, 1318-1319.

Cohen, J.D., Dunbar, K., McClelland, J.L. (1990). *On the control of automatic processes: a parallel distributed processing account of the Stroop effect*. Psychological review, 97,332-361.

Chernick, D.A (1972). *Effect of REM sleep deprivation on learning and recall by humans*. Perceptual and motor skills, 34, 283-294.

Corsi, M. (1983) *Psicofisiología del sueño*. Trillas, México.

Corsi-Cabrera, M., Arce, C., Ramos, J., I. Lorenzo, Guevara, M.A. (1996). *Time course of reaction time and EEG while performing a vigilance task during total sleep deprivation*. Sleep, 19 (7), 563-569.

Corsi-Cabrera, M., Guevara, M.A., del Río-Portilla, Y. (2008). *Brain activity and temporal coupling related to eye movements during REM sleep: EEG and MEG results*. Brain research, 1235. 82-91.

Corsi-Cabrera M., Meneses, S., Molina, E. (1987). *Correlación interhemisférica y acoplamiento temporal de la actividad eléctrica cortical durante la vigilia, la etapa II y el sueño paradójico en el hombre*. Revista Mexicana de Psicología, 4, 100-108.

Corsi-Cabrera, M., Miró, E., del Río-Portilla, Y., Pérez-Garci, E.,

Villanueva, Y., Guevara, M.A. (2003). *Rapid eye movement sleep dreaming is characterized by uncoupled EEG activity between frontal and perceptual cortical regions*. Brain and cognition, 51: 337-345.

Corsi-Cabrera, M., Ponce-de-Leon, M., Juárez, J., Ramos, J. (1994). *Effects of paradoxical sleep deprivation and stress on the waking EEG of the rat*. Physiology and Behavior, 55(6):1021-1027.

Corsi-Cabrera, M., Ramos, J., Meneses, S. (1989). *Effect of normal sleep and sleep deprivation on interhemispheric correlation during subsequent wakefulness in man*. Electroencephalography and clinical neurophysiology, 72, 305-311.

Crick, F., Mitchison, G. (1983). *The function of dream sleep*. Nature, 304, 111-114.

Dametto, M., Suchecki, D., Bueno O.F.A., Moreira, K.M., Tufik, S., Oliveira, M.G.M. (2002). *Social stress does not interact with paradoxical sleep deprivation-induced memory impairment*. Behavioral brain research, 129, 171-178.

Datta, S, Mavanji, V., Ulloor, J., Patterson, E.H. (2004) *Activation of phasic pontine-wave generator prevents rapid eye movement sleep deprivation-induced learning impairment in the rat: a mechanism for sleep-dependent plasticity*. Journal of neuroscience, 24, 1416-1427.

Davidson, R.J. (2002). *Anxiety and affective style –role of the prefrontal cortex and amygdala*. Biological psychiatry, 51, 68-80.

Davis, M. (1992). *The role of the amygdala in conditioned fear*. En “The amygdala”. Aggleton, J.P., Wiley-Liss, Nueva York.

Del Río-Portilla, Y., Muñoz-Torres, Z., Guevara, M.A., Corsi-Cabrera, M. (2008). *REM sleep post-eye movement activation*. International journal of bioelectromagnetism, 10, 4, 192-208.

Demaree, H.A., Everhart, E., Youngstrom, E.A., Harrison, D.W. (2005). *Brain lateralization of emotional processing: historical roots and a future incorporating “dominance”*. Behavioral and cognitive neuroscience review, 4, 3-20.

Dement (1960). *The effect of dream deprivation*. Science, 131, 1705-1707.

Desimone, R., Albright, T.D., Gross, C.G., Bruce, C. (1984). *Stimulus-selective properties of inferior temporal neurons in the macaque*. Journal of neuroscience, 4, 2051-2062.

Díaz-Guerrero, A. (1998). *Guía práctica: manejo del espectro depresión-ansiedad*. México, Editorial Trillas.

Empson, J.A.C., Clarke, P.R.F. (1970). *Rapid eye movements and remembering*. *Nature*, 227, 287-288.

Endo, T., Roth, C., Landolt, H. P., Werth, E., Aeschbach, D., Achermann, P., Bórbely, A. (1998). *Selective REM sleep deprivation in humans: effects on sleep and sleep EEG*. *American Journal of Physiology*, 274, R1186-94.

Fishbein, W. (1971). *Disruptive effects of rapid eye movement sleep deprivation on long-term memory*. *Physiology and behavior*, 6, 276-282.

Fishbein, W., Gutwein, B.M. (1977). *Paradoxical sleep and memory storage processes*. *Behavioral biology*, 19, 425-464.

Flores-Gutiérrez, E.O., Díaz, J.L., Barrios, F.A., Favila-Humara, R., Guevara, M.A., del Río-Portilla, Y., Corsi-Cabrera, M. (2007). *Metabolic and electric patterns during pleasant and unpleasant emotions induced by music masterpieces*. *International Journal of Psychophysiology*, 65, 69-84.

Foulkes, W.D. (1962). *Dream reports from different stages of sleep*. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 65, 14-25.

Franken P, Dijk D, Tobler I, Borbély AA. (1994). *High-frequency components of the rat electrocorticogram are modulated by the vigilance state*. *Neuroscience letters*, 167, 89-92.

Friston, K.J., Holmes, A.P., Worsley, K.J., Poline, J.B., Frith, C.D., Frackowiak, R.S.J. (1995). *Statistical parametric maps in functional imaging: a general linear approach*. *Human brain mapping*, 2, 189-210.

Fu, J., Li, P., Ouyang, C., Gu, C., Song, Z., Gao, J., Han, L., FENA, S., Tian, S., Hu, B. (2007). *Rapid eye movement sleep deprivation selectively impairs recall of fear extinction in hippocampus-independent tasks in rats*. *Neuroscience*, 144, 1186-1192.

Fuster, J. (1988). *The prefrontal cortex. Anatomy, physiology and neuropsychology of the frontal lobes*. EUA, Raven press.

Fuster, J. (1999). *Cognitive functions of the frontal lobes*. En Miller, B.L. y Cummings, J. L (editores). *The human frontal lobes. Functions and disorders*. EUA, The Guilford Press.

Gaarder, K. (1966). *A conceptual model of sleep*. *Archives of General Psychiatry*.

Ghashghaei, H.T., Barbas, H. (2002). *Pathways for emotion: interactions of prefrontal and anterior temporal pathways in the amygdale of the rhesus monkey*. *Neuroscience*, 115, 1261-1279.

Goldin, P.R., McRae, K., Ramel, W., Gross, J.J. (2008). *The neural*

*bases of emotion regulation: reappraisal and suppression of negative emotion.* Biological psychiatry, 63, 577-586.

Greenberg, R., Pillard, R., Pearlman, Ch. (1972). *The effect of dream (stage REM) deprivation on adaptation to stress.* Psychosomatic Medicine, 34, 257-262.

Guillon, D., Buchtel, H.A., Douglas, R.M. (1985) *Frontal lobe lesions in man cause difficulties in suppressing reflexive glances and in generating goal-directed saccades.* Experimental brain research, 58, 455-472.

Heaton, R.K., Chelune, G.J., Talley, J.L., Kay, G.G., Curtiss, G. (1993). *Wisconsin Card Sorting Test Manual. Revised and expanded.* Psychological Assessment Resources Inc., EUA.

Hicks, R.A., Bautista, J, Phillips, N. (1991). *REM sleep deprivation does not increase the sexual behaviors of male rats.* Perceptual and motor skills, 73, 127-130.

Hicks, R.A., Moore, J.D. (1979). *REM sleep deprivation diminishes fear in rats.* Physiology and behavior, 22, 689-692.

Hicks, R.A., Moore, J.D., Findley, P., Hirshfield, C., Humphrey, V. (1978). *REM sleep deprivation and pain threshold in rats.* Perceptual and motor skills, 47, 848-850.

Hicks, R.A., Moore, J.D., Hayes, C., Phillips, N., Hawkins, J. (1979). *REM sleep deprivation increases aggressiveness in male rats.* Physiology and behavior, 22, 1097-1100.

Hobson, J.A., Pace-Schott, E.F., Stickgold, R. (2000). *Dreaming and the brain: toward a cognitive neuroscience of conscious states.* Behavioral brain science, 23, 793-842.

Horne, J. A., McGrath, M. J. (1984). *The consolidation hypothesis for REM sleep function: stress and other confounding factors- a review.* Biological psychology, 18, 165-184.

Ioannides, A., A., Corsi-Cabrera, M., Fenwick, P.B.C., del Río-Portilla, Y., Laskaris, N., Khurshudyan, A., Theofilou, D., Shibata, T., Uchida, S., Nakabayashi, T., Kostopoulos, G.K. (2004). *MEG tomography of human cortex and brainstem activity in waking and REM sleep saccades.* Cerebral cortex, 14, 56-72.

Jian, H.W., Van den Buuse, M., Shao, W.T., Yuan, Y. M. (2003). *Effect of paradoxical sleep deprivation and stress on passive avoidance behavior.* Physiology and behavior, 79, 591-596.

Jouvet, M. (1962). *Recherche sur les structures nerveuses et les mechanisms responsables des différentes phases du sommeil physiologiques,*

Archives Italiennes de Biologie, 125-206.

Jouvet, M., Michel, F. (1959). *Correlations electromyographiques du sommeil chez le chat decortiqué et mesencephalique chronique*. Compt. Rend Soc. Biol. ,153, 422-425.

Karashima, A., Nakamura, K., Sato, N., Nakao, M., Katayama, N., Yamamoto, M. (2002). *Phase-locking of spontaneous and elicited pontogeniculo-occipital waves is associated with acceleration of hippocampal theta waves during rapid eye movement sleep in cats*. Brain research, 958, 347-358.

Karni, A., Tanne, D., Rubinstein, B. S. Et al. (1994) *Dependence on REM sleep of overnight improvement of a perceptual skill*. Science, 265, 679-682.

Kim, Y.E., Mahmoud, G.S., Grover, L.M. (2005). *REM sleep deprivation inhibits LTP in vivo in area CA1 of rat hippocampus*. Neuroscience letters, 388, 163-167.

Kober, H., Barret, L.F., Joseph, J., Bliss-Moreau, E., Lindquist, K., Wager, T.D. (2008). *Functional grouping and cortical-subcortical interactions in emotion: a meta-analysis of neuroimaging studies*. Neuroimage, 42, 998-1031.

Kumar, P., Raju, T.R. (2001). *Seizure susceptibility decreases with enhancement of rapid eye movement sleep*. Brain research, 922, 299-304.

Kushida, C.A., Bergmann, B.M., Rechtschaffen, A. (1989). *Sleep deprivation in the rat. IV Paradoxical sleep deprivation*. Sleep, 12, 22-30.

Lang, P. J., Greenwald, M.K., Bradley, M. M., Hamm, A. O. (1993). *Looking at pictures: affective, facial, visceral and behavioral reactions*. Psychophysiology, 30, 261-273.

Lang, P. J., Greenwald, M.K., Bradley, M. M., Hamm, A. O. (2005). *International Affective Picture System*. Universidad de Florida, EUA.

Leconte, P., Hennevin, E. (1971). *Augmentation de la durée de sommeil paradoxal consécutive a un apprentissage chez le rat*. C.R. Acad. Sci. Paris, 273, 86-88.

Leconte, P., Hennevin, E. (1972). *Sommeil paradoxal et mémorisation: effet du délai d'endormissement chez le rat.* Journal de physiologie., 65, 255-256.

Le Doux, J.E. (2000). *Emotion circuits in the brain*. Annual review of neuroscience, 23, 155-84.

Lewin, I., Glaubman, H. (1975). *The effect of REM deprivation: is it detrimental, beneficial, or neutral?* Psychophysiology, 12, 349-353

Lezak, M. D. (1995). *Neuropsychological assessment*. Oxford University



Press. Nueva York, EUA.

Llinás R., Ribary, U. (1993). *Coherent 40 Hz oscillation characterizes dream state in humans*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 90, 2078-2081.

Lorenzo, I., Ramos, J., Arce, C., Guevara, M.A., Corsi-Cabrera, M. (1995) *Effect of total sleep deprivation on reaction time and waking EEG activity in man*. Sleep, 18 (5), 346-354.

Louie, K., Wilson, M. (2001). *Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep*. Neuron, 29, 145-156.

Lucero, M., *Lengthening of REM sleep duration consecutive to learning in the rat*. Brain research, 20, 319-322.

Luria, A. R. (1970/1979). *La organización funcional del cerebro*. En Thompson, R.F., *Psicología fisiológica (introducciones)*. Selecciones de Scientific American. H. Blume Ediciones, España.

Maddock, R.J., Garret, A.S. Bounocore, M.H. (2003). *Posterior cingulated cortex activation by emotional words: fMRI evidence from a valence decision task*. Human brain mapping, 18, 30-41.

Majumdar, S., Mallick, B.N. (2005). *Cytomorphometric changes in rat brain neurons after rapid eye movement sleep deprivation*. Neuroscience, 135, 69-690.

Mallick, B.N., Majumdar, s., Faisal, M., Yadav, V., Madan, V., Pal, D. (2002). *Role of norepinephrine in the regulation of rapid eye movement sleep*. Journal of Bioscience, 27, 539-551.

Mallick, B.N., Siegel., J.M., Fahringer, H. (1990). *Changes in pontine unit activity with REM sleep deprivation*. Brain research, 515, 94-98.

Mandai, O., Guerrien, A., Sockeel, P., Dujardin, K., Leconte, P. (1989). *REM sleep modifications following a morse code learning session in humans*. Physiology and behavior, 46, 639-642.

Martin, A. (1999). *Automatic activation of the medial temporal lobe during encoding: lateralized influences of meaning and novelty*. Hippocampus, 9, 62-70.

Martínez-González, D., Obermeyer, W., Fahy, J.L., Riboh, M., Kalin, N.H., Benca, R.M. (2004). *REM sleep deprivation induces changes in doping responses that are nor reversed by amphetamine*. Sleep, 27: 609-671.

Maquet, P. (1999). *Brain mechanisms of sleep: contribution of neuroimaging techniques*. Journal of Psychopharmacology, 13, S25-8.

Maquet, P., Laureys, S., Peigneux, P., Fuchs, S., Petiau, C., Phillips, C., Aerts, J., Del Fiore, G., Degueldre, C., Meulemans, T., Luxen, A., Franck, G., Van Der Linden, M., Smith, C., Cleermans, A. (2000). *Experience-dependent changes in cerebral activation during human REM sleep*. *Nature neuroscience*, 3, 831-836.

Maquet, P., Peigneux, P., Laureys, S., Smith, C. (2002). *Be caught napping: you are doing more than resting your eyes*. *Nature neuroscience*, 5, 618-619.

McDonald, A.J., (1991). *Organization of amygdaloid projections to the prefrontal cortex and associated striatum in rat*. *Neuroscience*, 44, 15-33.

McGrath, M. J., Cohen, D.B. (1978). *REM sleep facilitation of adaptive waking behavior: a review of the literature*. 85, 24-27.

Morden, B., Conner, R., Mitchell, G., Dement, W., Levine, S. (1968). *Effects of rapid eye movement (REM) sleep deprivation on shock-induced fighting*. *Physiology and behavior*, 3, 425-432.

Morgan, M.A. y Le Doux, J.E. (1995). *Differential contribution of the dorsal and ventral medial prefrontal cortex to the acquisition and extinction of conditioned fear in rats*. *Behavioral neuroscience*, 109, 681-688.

Moruzzi, G. (1963). *Active processes in the brain stem during sleep*. *Harvey Lectures*, 58, 233-297.

Muñoz-Torres, Z. V. (2005). *Cambios en la actividad eléctrica cerebral durante una tarea de atención visual sostenida bajo el efecto del diazepam*. Tesis de licenciatura en Psicología, UNAM, Facultad de Psicología.

Muñoz-Torres, Z., Armony, J., Trejo-Martínez, D., Conde, R., Corsi-Cabrera, M. (2008). *Cambios metabólicos asociados a la toma de decisiones bajo el efecto de diazepam*. Trabajo presentado en la X Reunión de neuroimagen, CIMAT, Guanajuato.

Muñoz-Torres, Z., Armony, J., Trejo-Martínez, D., Conde, R., Corsi-Cabrera, M. (enviado). *Metabolic activity related to rule guided behaviour under diazepam: an fMRI study*. *Journal of Psychopharmacology*.

Muzur, A., Pace-Schott, E.F., Hobson, J.A. (2002). *The prefrontal cortex in sleep*. *Trends in cognitive science*, 6, 475-481.

Newman, E.A., Evans, C.R. (1965). *Human dream processes as analogous to computer programme clearance*. *Nature*, 206, 534.

Nishida, M., Pearsall, J., Buckner, R.L., Walker, M.P. (2009). *REM sleep, prefrontal theta, and the consolidation of human emotional memory*. *Cerebral cortex*, 19, 1158-1166.

Nofzinger, E.A., Mintun, M.A., Wiseman, M., Kupfer, D.J., Moore, R.Y. (1997). *Forebrain activation in REM sleep: an FDG PET study*. Brain research, 770, 192-201.

Nunes, G.P., Tufik, S., Nobrega, J.N. (1994). *Autoradiographic análisis of D1 and D2 dopaminergic receptors in rat brain after paradoxical sleep deprivation*. Brain research bulletin, 34, 453-456.

Pavlidis, C., Greenstein, Y.J., Grudman, M., Winson, J. (1988). *Long-term potentiation in the dentate gyrus is induced preferentially on the positive phase of theta-rhythm*. Brain research, 439, 383-387.

Payer, D. E., Lieberman, M.D., Monterosso, J.R., Xu, J., Fong, T.W., London, E.D. (2008). *Differences in cortical activity between methamphetamine-dependent and healthy individuals performing a facial affect matching task*. Drug and alcohol dependence, 93, 93-102.

Pearlman, C. A. (1971). *Latent learning impaired by REM sleep deprivation*. Psychonomic Science, 25, 135-136.

Pearlman, C.A. (1973). *REM sleep deprivation impairs latent extinction in rats*. Physiology and behavior, 11, 233-237.

Pearlman, J.R., Greenberg, R. (1973). *Post trial REM sleep impairs latent extinction in rats*. Physiology and behavior, 11, 233-237.

Pearlman, C.A., Becker, M. (1974a). *REM sleep deprivation impairs bar press acquisition in rats*. Physiology and behavior, 13, 813-817.

Peigneux, P., Laureys, S., Fuchs, S., Delbeuck, X., Degueldre, C., Aerts, J., Delfiore, G., Luxen, A., Maquet, P. (2001). *Generation of rapid eye movements during paradoxical sleep in humans*. Neuroscience, 14, 701-708.

Peigneux, P. Laureys, S., Fuchs, S., Destrebecqz, A., Collete, F., Delbeuck, X., Phillips, C., Aerts, Del Fiore, G.J. Degueldre, Luxen, A., Cleermans, A., .Maquet, P. (2003). *Learned material content and acquisition level modulate cerebral reactivation during posttraining rapid-eye-movements sleep*. Neuroimage, 20, 125-134.

Pérez-Garci, E., del Río-Portilla, Y., Guevara, M.A., Arce, C., Corsi-Cabrera, M. (2001). *Paradoxical sleep is characterized by uncoupled gamma activity between frontal and perceptual regions*. Sleep, 24, 118-126.

Pérez-Ortiz, A. (2008). *Actividad electroencefalográfica durante una tarea de atención sostenida en sujetos insomnes*. Tesis de grado de licenciatura, Facultad de Psicología, UNAM.

Phan, K.L., Fitzgerald, D.A., Nathan, P., J., Moore, G.J., Uhde, T.W., Tancer, M.E. (2005). *Negative affect. A functional magnetic resonance imaging study*. Biological psychiatry, 57, 210-219.

Poe, G., R., Nitz, D.A., McNaughton, B.L., Barnes, C.A. (2000). *Experience-dependent phase-reversal of hippocampal neuron firing during REM sleep*.

Prabhakaran, V., Narayanan, K., Zhao, Z., Gabrieli, J.D.E. (2000). *Integration of diverse information in working memory within the frontal lobe*. Nature neuroscience, 3, 85-90.

Price L.J., Kremen I. (1980). *Variations in behavioral response threshold within the REM period of human sleep*. Psychophysiology, 17, 133-140.

Quirk, G.J., Repa, C., LeDoux, J.E. (1995). *Fear conditioning enhances short-latency auditory responses of lateral amygdala neurons: parallel recordings in the freely behaving rat*. Neuron, 15, 1029-1039.

Rao, S.Ch., Rainer, G., Miller, E.K. (1997). *Integration of what and where in the primate prefrontal cortex*. Science, 276, 821-824.

Rechtschaffen, A., Kales. A. (editores). (1968). *A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects*. Brain information service/Brain Research Institute, Los Angeles, EUA.

Ramos, J., Guevara, M. A., Martínez, A., Arce, C., del Río, Y., Amescua, C., Corsi-Cabrera, M. (1996). *Evaluación de los estados afectivos provocados por la música*. Revista mexicana de psicología, 13, 131-145.

Rorden, Ch. (2000). MRicro. Software that complement SPM allows analyse MRI, fMRI and PET images. University of South Carolina, Columbia SC 29208, USA. Obtenido de la página electrónica <http://www.sph.sc.edu/comd/rorden/mricro.html>.

Rosales-Lagarde, A., del Río-Portilla, Y., Guevara, M. A., Corsi-Cabrera, M. (2009). *Caída abrupta del tono muscular al entrar a sueño MOR en el ser humano*. Salud Mental, 32, 117-123.

Satinoff, E., Drucker-Colín, R.R., Hernández-Peón, R. (1968). *Paleocortical excitability and sensory filtering during REM sleep deprivation*. Physiology and behavior, 7, 103-106.

Saxvig, I. W., Lundervold, A.J., Grønli, J., Ursin, R., Bjorvatn, B., Portas, Ch. M. (2007). *The effects of a REM sleep deprivation procedure on different aspects of memory function in humans*. Psychophysiology, 44, 1-9.

Shouse, M.N. y Sterman, M.B. (1982). *Acute sleep deprivation reduces amygdala-kindled seizures threshold in cats*. Experimental neurology, 78, 716-727.

Silvestri, A.J. (2005). *REM sleep deprivation affects extinction of cued but not contextual fear conditioning*. Physiology and behavior, 84, 343-349.

Simón- Arceo, K., Calvo, J.M. (1997). *Aumento a largo plazo del sueño REM y de los potenciales ponto-genículo-occipitales (PGO) provocado por la activación colinérgica de la amígdala del lóbulo temporal en el gato*. Salud Mental, 20, 12-22.

Smith, C. y Lapp, L. (1991). *Increases in number of REMS and REM density in humans following an intensive learning period*. Sleep, 14, 325-330.

Smith, C. y Young, J. (1980). *Reversal of paradoxical sleep deprivation by amygdaloid stimulation during learning*. Physiology and behavior, 24, 1035-1039.

Snyder, F. (1971). *The physiology of dreaming*. Behavioral science, 16, 31-44.

Solís-Ortiz, S., Corsi-Cabrera, M. Sustained attention is favored by progesterone during early luteal phase and visuo-spatial memory by estrogens during ovulatory phase in young women. Psychoneuroendocrinology, 2008, 33: 989-998.

Sotres-Bayon, F., Bush, D.E., LeDoux, J.E. (2004). *Emotional perseveration: an update on prefrontal-amygdala interactions in fear extinction*. Learning and memory, 11, 525-535.

SPM (2006). Statistical Parametric Mapping (SPM). Analysis of brain imaging data sequences software. Wellcome Department of Imaging Neuroscience. Institute of Neurology, UCL, Londres.

Steiner S.S, Ellman, S.J. (1972). *Relation between REM sleep and intracranial self-stimulation*. Science, 22, 1122-1124.

Stepernich, V., Albouy, G., Boly, M., Vanderwalle, G., Darsaud, A., Balteau, E., Dang-Vu, T.T., Desseilles, M., D'Argembeau A., Gais, S., Rauchs, G., Schabus, M., Degueldre, C., Luxen, A., Collette, F., Maquet, P. (2007). *Sleep-related hippocampo-cortical interplay during emotional memory recollection*. Plos biology, 5, e282.

Steriade M, Amzica F. (1996a). *Intracortical and corticothalamic coherency of fast spontaneous oscillations*. Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 93, 2533-2538.

Steriade, M., Amzica, F. Contreras, D. (1996b). *Synchronization of fast (30-40Hz) spontaneous cortical rhythms during brain activation*. The journal of neuroscience, 16, 392-417.

Tachibana, N. (2009). *Historical review of REM sleep behavior disorder in relation to its pathophysiology*. Brain nerve, 61, 558-568.

Takahashi, L.K., Blanchard, R.J. (1978). *Shock and defensive fighting in the rat*. Bulletin of the psychonomic society, 12, 211-213.

Tanaka, K. (1996). *Inferotemporal cortex and object vision*. Annual review of neuroscience, 19, 109-139.

Tononi, G., Cirelli, C. (2006). *Sleep function and synaptic homeostasis*. Sleep medicine review, 10, 49-62.

Vogel, G.W. (1975). *A review of REM sleep deprivation*. Archives of General Psychiatry, 749-761.

Wagner, U., Fischer, S., Born, J. (2002). *Changes in emotional responses to aversive pictures across periods rich in slow-wave sleep versus rapid eye movement sleep*. Psychosomatic medicine, 64, 627-634.

Wagner, U., Gais, S., Born, J. (2001). *Emotional memory formation is enhanced across sleep intervals with high amounts of rapid eye movement sleep*. Learning and memory, 8, 112-119.

Wilson, M.A., McNaughton, B.L. (1994). *Reactivation of hippocampal ensemble memories during sleep*. Science, 265, 676-678.

## **V. ANEXOS**

### ***a) Tarea de Integración Novedosa de Secuencias Lógicas (TAINSEL)***

La adquisición y aplicación de reglas de secuencia lógica verbal y no verbal, la memoria a largo plazo y la capacidad de integración de las mismas reglas de secuencia lógica adquiridas por separado antes del tratamiento experimental, se midieron con la tarea de integración novedosa de secuencias lógicas (TAINSEL) (figura 23). La tarea consta de 4 partes: la tarea de secuencias verbales (TAINSEL-V), la tarea de secuencias visuoespaciales o no verbales (TAINSEL-NV), la tarea de la integración de las 2 tareas anteriores (TAINSEL-INTEG), y de un cuestionario de opción múltiple con el fin de asegurar que los sujetos conocen y recuerdan las reglas de secuencia lógica verbal y no verbal antes de pasar a la ejecución de la tarea de integración. Si se responde el cuestionario adecuadamente, se descarta que una mala ejecución de la tarea de integración se deba a desconocimiento o falta de recuerdo de las reglas.

La tarea de secuencias verbales y la tarea de secuencias no verbales se presentaron tres veces a las 9 pm, después de la noche de línea base, después de la noche de tratamiento y después de la noche de recuperación. En la noche de tratamiento, después de ejecutar las tareas de secuencia verbal y no verbal, se dio el cuestionario de opción múltiple antes de ejecutar la tarea de integración.

#### **Tarea de secuencias verbales (TAINSEL-V)**

La tarea consiste en 4 bloques de 36 estímulos cada uno presentados en la pantalla de una computadora. Cada estímulo consiste en 3 pseudopalabras de 4 letras, una por renglón (cada renglón mide 4 cm de alto X 4 cm de ancho); cada pseudopalabra está formada por 2 vocales y dos consonantes intercaladas y escritas en letras mayúsculas negras sobre fondo blanco. Los estímulos aparecen en una pantalla con fondo blanco, primero se presenta un punto negro como estímulo de fijación (1 cm x 1 cm) con una duración de 2000 ms. Inmediatamente después se presenta el estímulo durante 5000 ms y a continuación una pantalla blanca de 2000 ms, por lo que se tienen 7000 ms como límite para responder. Cada bloque de 36 estímulos tiene una duración aproximada dependiente de la ejecución de 4 minutos.

Los estímulos se construyeron con las 8 combinaciones de los 6 conjuntos de letras, con vocales y consonantes intercaladas con un conjunto por estímulo (IBOS, OKUM, IFAG, AWOZ, ELUQ, AJUT). La tarea del sujeto consiste en presionar un botón blanco si las 3 pseudopalabras del estímulo siguen la regla de secuencia lógica que se describe a continuación, o presionar un botón negro si no la siguen. Ante la respuesta del sujeto aparece el estímulo siguiente. La tarea se suspende cuando el sujeto logra el 80% de aciertos en un bloque o al finalizar el cuarto bloque (lo que ocurra primero).

La regla de secuencia lógica es como sigue: 1. Inicia con vocal; las dos vocales y las dos consonantes en orden alfabético (ejem., AKUZ). 2. Inicia con vocal; las dos vocales en orden alfabético y las dos consonantes en orden alfabético inverso (ejem., AZUK). 3. Inicia con vocal; las vocales en orden inverso y las consonantes en orden alfabético (ejem., UKAZ). 4. Inicia con vocal; las vocales y las consonantes en orden inverso (ejem., UZAK). 5. Inicia con consonante; vocales y consonantes en orden alfabético (ejem., KAZU). 6. Inicia con consonante; vocales en orden alfabético y consonantes en orden inverso (ejem., ZAKU). 7. Inicia con consonante; vocales en orden inverso y consonantes en orden alfabético (ejem., KUZA). 8. Inicia con consonante; vocales y consonantes en orden inverso (ejem., ZUKA). Las 3 pseudopalabras de un estímulo pueden iniciar en cualquier punto de la secuencia. Se presentaron 18 estímulos correctos y 18 incorrectos en cada bloque.

Antes de comenzar la tarea se presenta un ejemplo de 5 estímulos con una secuencia verbal de letras distinta a las secuencias de letras aplicadas en la tarea. En la pantalla se muestra si la respuesta fue correcta, incorrecta o se hizo una omisión. El ejemplo termina cuando se logra el 100% de aciertos.

Las instrucciones y los títulos presentados son: "TAREA DE PERCEPCIÓN. Le voy a presentar una tarea en la que deberá indicar si la secuencia de letras de cada pseudopalabra cumple con ciertas reglas ¿sabe qué son las pseudopalabras? Todas las pseudopalabras que le voy a presentar estarán siempre formadas por: 1) cuatro letras, dos vocales y dos consonantes; 2) las vocales y las consonantes están siempre intercaladas. Para cada pseudopalabra se presentarán tres de las posibles combinaciones de secuencia de letras (que son ocho). A continuación le indico las reglas básicas que deberá seguir la secuencia de las letras de cada pseudopalabra.



Secuencia que deberán seguir las letras de cada pseudopalabra: las primeras dos comienzan con la primera vocal en orden alfabético con respecto a la otra vocal, A, y cambia el orden de las consonantes, primero en orden alfabético, K, Z, y después en orden inverso, Z, K: AKUZ y AZUK. La tercera y la cuarta comienzan con la siguiente vocal en orden alfabético, U, y cambia el orden de las consonantes, primero en orden alfabético, K, Z, y después en orden inverso, Z, K: UKAZ y UZAK. La quinta y la sexta comienzan con la primera consonante en orden alfabético, K, y ahora cambia el orden de las vocales, primero en orden alfabético, A, U, y después en orden inverso, U, A: KAZU y KUZA. La séptima y la octava comienzan con la siguiente consonante y cambia el orden de las vocales, primero en orden alfabético, A, U, y después en orden inverso, U, A: ZAKU y ZUKA. A continuación le muestro un ejemplo de una pseudopalabra con sus ocho combinaciones posibles siguiendo la secuencia indicada. AKUZ, AZUK, UKAZ, UZAK, KAZU, KUZA, ZAKU, ZUKA (acomodadas en una fila). Así,

ZAKU

KUZA

UKAZ

NO siguen la secuencia inmediata presentada anteriormente.

Ahora le mostraré tres secuencias distintas de la pseudopalabra para ver si comprendió las reglas y usted deberá indicarme presionando el botón blanco si sigue la regla de secuencias y el negro si no la sigue.

Pronto comenzará el ejemplo. Trate de quedarse lo más quieto posible, parpadear después de responder y mantener la vista fija en el punto de fijación o en el centro de la pantalla. Recuerde que para decir que siguen la secuencia las 3 pseudopalabras deben estar en el orden que se le dijo sin saltos entre ellas y de la última no sigue la primera.”

Tarea de secuencias no verbales o degradaciones (TAINSEL-NV)

La tarea es igual a la de pseudopalabras pero con estímulos visuo-espaciales. Cada estímulo consiste en 3 rectángulos blancos uno debajo del otro (cada rectángulo mide 5.2 cm de alto y 6.5 cm de ancho y hay un espacio entre rectángulos de 2 mm, por lo que en total el estímulo mide 16 cm de alto X 6.5 cm de ancho). Cada rectángulo contiene el color azul superpuesto al fondo

blanco que va cambiando de intensidad en su interior. La degradación de intensidad puede comenzar desde un extremo al otro o desde el centro del rectángulo hacia los extremos.

La regla de secuencia lógica es como sigue: 1. El color se degrada de arriba hacia abajo. 2. de derecha a izquierda. 3. desde los extremos horizontales hacia el centro. 4. de los extremos verticales hacia el centro. 5. de abajo hacia arriba. 6. de izquierda a derecha. 7. del centro hacia los extremos horizontales. 8. del centro hacia los extremos verticales.

Las instrucciones y los títulos presentados son: TAREA DE PERCEPCIÓN: “Le voy a presentar una tarea en la que deberá indicar si la secuencia de posiciones de degradación de un color cumple con ciertas reglas. ¿Sabe qué es una degradación de color? Son ocho las posibles direcciones de las degradaciones que le voy a presentar y van: de un extremo a otro de la diapositiva, de los extremos al centro, del centro a los extremos. A continuación le indico las reglas básicas que deberá seguir la secuencia de las degradaciones de color. Secuencia que deberán seguir las posiciones de la degradación del color: En las primeras dos posiciones las degradaciones van de un extremo a otro extremo. Primero de arriba hacia abajo y después de derecha a izquierda. En la tercera y la cuarta posición las degradaciones van de los extremos al centro. Primero desde los extremos horizontales y después desde los extremos verticales. En la quinta y la sexta posición las degradaciones también van de un extremo al otro. Primero de abajo hacia arriba y después de izquierda a derecha. La séptima y la octava van del centro a los extremos. Primero desde el centro horizontal y después desde el centro vertical. A continuación le muestro un ejemplo de las ocho posiciones de degradación de color.

Ahora le mostraré tres secuencias de las degradaciones de color para ver si comprendió las reglas y usted deberá indicarme presionando el botón blanco si sigue la regla de secuencias y el negro si no la sigue.

Pronto comenzará el ejemplo. Trate de quedarse lo más quieto posible, parpadear después de responder y antes del siguiente estímulo, y mantener la vista fija en el punto de fijación o en el centro de la pantalla”.

Cuestionario de opción múltiple

El cuestionario consta de 10 preguntas de opción múltiple, 5 para la regla verbal y 5 para la no-verbal en las que se presentan diferentes opciones de secuencias de manera declarativa.

#### Integración de las dos tareas (TAINSEL-INTEG)

En esta tarea, las dos reglas de secuencia lógica, la verbal y la no verbal deben mantenerse en la memoria de trabajo y aplicar simultáneamente los dos conocimientos, por lo que requiere la combinación novedosa de un aprendizaje con el otro.

Las reglas de secuencia lógica son las mismas que en la tarea verbal y no-verbal. Los estímulos consisten en un solo rectángulo con una pseudopalabra escrita dentro. El sujeto debe responder si ambos estímulos, rectángulo y pseudopalabra, corresponden al mismo orden que les tocaría en cada una de las reglas por separado. La tarea consiste en 4 bloques de 48 estímulos. Se presenta un punto negro como estímulo de fijación (1 cm x 1 cm) con una duración de 2000 ms. Inmediatamente después se presenta el estímulo durante 11000 ms y a continuación una pantalla blanca de 2000 ms, por lo que se tienen 13000 ms para responder. Cada bloque de 48 estímulos tiene una duración aproximada de 6 minutos. El 50% de estímulos son correctos y 50% de estímulos no corresponde con la regla. La tarea se presentó después de la fase de tratamiento sin ejemplos.

Las instrucciones son: "Antes le presenté las reglas de secuencia de letras en las pseudopalabras y de posiciones de las degradaciones de color. Ahora le voy a presentar en la misma imagen una pseudopalabra y una degradación. A cada pseudopalabra le corresponde sólo una posición de degradación específica. Usted deberá indicarme presionando el botón blanco si coinciden las posiciones de ambas secuencias y el negro si no coinciden las posiciones lo más rápido y correctamente posible.

Trate de quedarse lo más quieto posible, parpadear en cuanto haya respondido y mantener la vista fija en el punto de fijación o en el centro de la pantalla".

Se obtuvo el número del estímulo con el que se alcanzó el 80% de respuestas correctas, las omisiones y el tiempo de reacción.

Las tres tareas que conforman a TAINSEL se diseñaron expresamente en el laboratorio por Rosales-Lagarde y Corsi-Cabrera para el presente experimento y se probaron antes de iniciar el experimento en un grupo piloto.

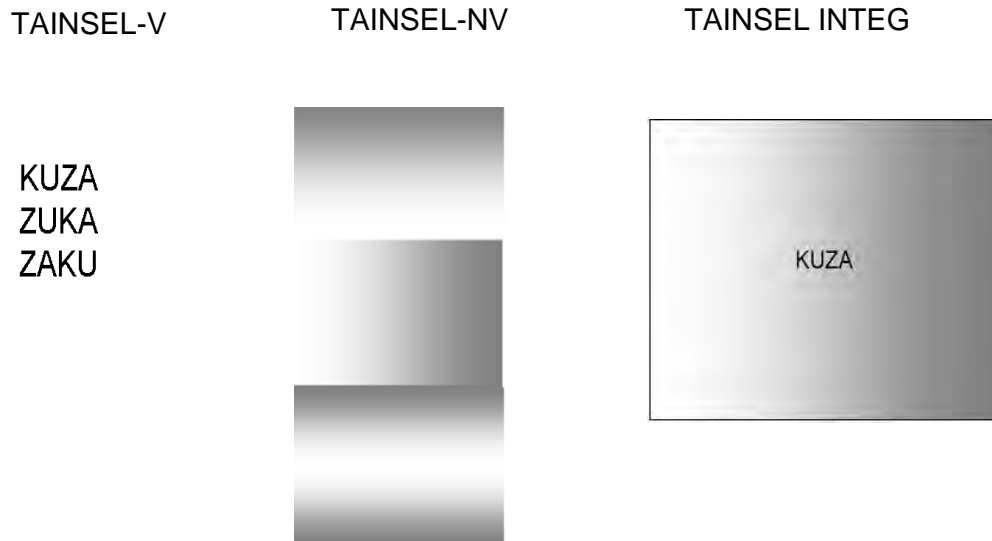


Figura 23. Tarea de Integración Novedosa de Secuencias de lógicas (TAINSEL) en sus componentes verbal (TAINSEL-V), no verbal (TAINSEL-NV), y de integración (TAINSEL-INTEG). Las dos primeras secuencias se ejecutan por separado y después, sorpresivamente, se integran en forma novedosa.

#### ***b) Tarea de Atención Sostenida Visual (TASVI)***

La capacidad para sostener la atención por periodos prolongados de tiempo se evaluó con la Tarea de Atención Sostenida Visual (TASVI). La Tarea de Atención Sostenida Visual consiste en la presentación de varios estímulos y el sujeto debe apretar un botón lo más rápido posible ante el estímulo blanco. El estímulo blanco es un cuadrado (11 x 11 cm) sin la esquina superior derecha. Cada estímulo se presenta durante 50 ms y son un total de 120 estímulos en total de los cuales 30 son estímulos blanco. Los otros tres cuadrados carecen de las otras respectivas esquinas (ver figura 24). Los estímulos se presentan uno a uno en el centro de la pantalla de la computadora. El intervalo interestímulo varía al azar de 5 a 7 segundos. La tarea dura 12 minutos.

Se midieron las respuestas correctas, las respuestas incorrectas, las omisiones, los falsos positivos y el tiempo de reacción para las respuestas correctas e incorrectas.

Las instrucciones son: “A continuación, se te presentarán imágenes como las siguientes (se presentan entonces los distintos cuadrados sin una de sus esquinas en fila uno después de otro). Son cuadrados a los que les falta una esquina. Aparecerá uno a la vez al centro de la pantalla. Tu tarea consiste en oprimir el botón de respuesta, lo más rápido posible, cada vez que aparezca el siguiente cuadrado (se presenta el cuadrado sin la esquina superior derecha). Para continuar oprime el botón de respuesta.”

La tarea TASVI se diseñó expresamente en el laboratorio por Corsi-Cabrera y ha sido usada en experimentos de privación de sueño (Lorenzo et al., 1995; Corsi-Cabrera et al., 1996), en sujetos insomnes (Pérez-Ortiz, 2008) y para evaluar los efectos de la ingestión de benzodiazepinas (Muñoz-Torres et al., 2005, 2008) en un amplio grupo de sujetos. Además se administró 3 veces en un grupo piloto antes del experimento en diferentes versiones con el fin de comprobar la estabilidad de la ejecución intrasujeto.



Figura 24. Tarea de Atención Sostenida Visual (TASVI). En la parte superior se muestran los estímulos. El estímulo blanco es el que carece de la esquina superior derecha.

### **c) Tarea de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin (WCST)**

La toma de decisiones y la flexibilidad de pensamiento se evaluaron con la tarea de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin (Wisconsin Card Sorting Test, WCST por sus siglas en inglés) según los criterios de Heaton et al. (1993) en una versión computarizada. Esta tarea consiste en la presentación de cuatro tarjetas situadas en la parte superior y una tarjeta situada en la parte inferior

(cada tarjeta mide 6 cm de alto X 5 cm de ancho) con fondo negro en la pantalla de la computadora. El sujeto debe descubrir el criterio de clasificación de una de 3 categorías (color, forma o número) de la tarjeta inferior con respecto a las 4 superiores al presionar una de las teclas (1, 2, 3 ó 4) correspondientes a cada tarjeta de la parte superior. El programa e-prime elige al azar el criterio de clasificación y después de 10 respuestas correctas en una categoría el programa elige otra categoría. Ante la respuesta del sujeto la tarjeta blanco cambia y en total pueden presentarse un total de 128 tarjetas. Después de cada respuesta aparece escrita la palabra “correcta” o “incorrecta” durante 2 segundos en letras blancas sobre un fondo negro dependiendo de la ejecución. La respuesta incorrecta genera la presentación de 10 tarjetas extras. Si se completan las 3 categorías el programa las presenta de nuevo en el mismo orden. La tarea tiene una duración que puede ser de 6 a 12 minutos, dependiendo de la ejecución.

Las instrucciones son: “Le voy a presentar 4 tarjetas en la parte superior y una en la parte inferior. Las tarjetas de la parte superior son: un triángulo rojo, dos estrellas verdes, tres cruces amarillas, cuatro círculos azules. La tarjeta de la parte inferior irá cambiando y usted deberá indicar dónde colocaría la tarjeta de la parte inferior encima de sólo alguna de las cuatro de la parte superior según usted considere y según le indique la computadora con las teclas “1, 2, 3 ó 4” de su mano derecha. Trate de mantener la vista fija en la pantalla, no bajar los ojos o moverse mucho y parpadear en cuanto responda. Apriete cualquier tecla cuando esté listo”.

Se miden el número total de estímulos presentados, el número de respuestas correctas, el número de respuestas incorrectas, el porcentaje de respuestas correctas e incorrectas, el tiempo de reacción para cada tipo de respuesta, las secuencias terminadas y el número de las perseveraciones.

#### **d) Tarea *Fluidez Verbal (FAS)***

La tarea FAS evalúa tanto la fluidez verbal como el pensamiento divergente. En este experimento medimos el pensamiento divergente. Consiste en nombrar todas las palabras posibles que comiencen con una letra en particular, “f”, “a” o “s ” en un minuto y lo más rápido posible. Las palabras no deben ser nombres propios o palabras derivadas tales como “leche”, “lechería”.

Fue diseñada por Thurstone como una tarea de fluidez verbal en inglés y posteriormente fue estandarizada por Ardila, et al. (1994) en hablantes del español. La tarea se administró 3 veces en distintos días en un grupo piloto antes del experimento en diferentes versiones con el fin de comprobar la estabilidad de la ejecución intrasujeto.

Se mide el número de palabras expresadas en un minuto que cumplan con los criterios correctos.

#### ***e) Tarea de Respuestas guiadas por Reglas Arbitrarias (TRERA)***

La capacidad de ejecutar una instrucción compleja arbitraria y elegir la respuesta correcta se evaluó con la prueba de respuestas guiadas por reglas arbitrarias (TRERA), que demanda flexibilidad ante el cambio de instrucciones e inhibición de respuestas incorrectas. Esta prueba consta de dos partes, una tarea con una instrucción simple (41 estímulos) y otra de una instrucción compleja (164 estímulos). En ambas tareas se presentan los mismos estímulos y son 4 tipos de estímulos. En la tarea simple la respuesta es siempre la misma independiente del estímulo, en tanto que en la tarea compleja la respuesta depende de los estímulos (por lo que se consideran reglas complejas). Se presenta un punto de fijación blanco en el centro de la pantalla negra de la computadora y dos marcos cuadrados de color blanco a cada lado del punto de fijación. El punto de fijación (800 ms) se transforma en una flecha blanca (500 ms) que apunta al lado derecho o al lado izquierdo. En cualquiera de los marcos aparece el estímulo "blanco": una cruz (100 ms) roja o verde. El 50% de las veces la flecha apunta en la dirección a la cruz y el 50% apunta en dirección contraria a la cruz. La flecha indica el 50% de las veces a la derecha y el otro 50% de las veces a la izquierda.

Para cada una de las tareas se presentan las instrucciones en fondo negro y letras blancas durante 9550 milisegundos y la palabra "pausa" durante 6000 milisegundos.

El sujeto tiene 3000 ms para responder. Cada bloque de tareas dura 3 minutos. La tarea simple tiene una duración de 3 minutos y la de instrucción compleja 12 minutos. En ambas tareas 91.3% de los ensayos son estímulos y en el 9.7% de éstos no aparece la cruz y no se debe responder. Siempre es presentada la tarea simple primero y posteriormente la compleja.

### Tarea simple

Esta tarea consiste en 41 estímulos y el sujeto debe apretar dos veces un botón ante la aparición de la cruz sin importar su color o su ubicación. En la pantalla aparecen las instrucciones: “Oprime el botón 2 veces cada vez que aparezca la cruz”. La tarea tiene una duración de 3 minutos.

### Tarea compleja

En esta tarea los estímulos son los mismos que en la tarea simple y la respuesta depende de la interacción entre el color de la cruz y su posición en relación a la flecha. El sujeto tiene que escoger entre dos respuestas: 2 *clicks* (go) ó 1 *click* (no go) ya que en vez de pedir al sujeto que no respondiera se optó por pedir que inhibiera el segundo *click* para tener evidencia de que el sujeto vió el estímulo y respondió. Cuando la cruz aparece en el lado al que apunta la flecha y es verde entonces debe dar 2 *clicks*, o si es roja y aparece en el lado contrario a donde apuntaba la flecha. Cuando la cruz no aparece en el lado al que apunta la flecha y la cruz es verde entonces debe dar 1 *click* o si la cruz es roja y aparece del lado donde apuntaba la flecha (figura 25). En la pantalla aparecen las instrucciones que le indican al sujeto qué hacer: “Recuerda responder: 2 veces: cruz verde y flecha congruente. 1 vez: cruz verde y flecha incongruente. Cruz roja: lo opuesto. Para iniciar oprime el botón”. Se midieron el número total de respuestas correctas, de respuestas incorrectas (omisiones, falsos positivos y falsos negativos) y el tiempo de reacción para cada tipo de estímulo ante el primer *click*. Se presentan 164 estímulos en total. El botón de la caja de respuestas se conectó a la computadora de estimulación que se sincronizó con el resonador mediante fibra de vidrio. La tarea tiene una duración de 12 minutos.

Esta tarea se diseñó expresamente en el laboratorio por Muñoz-Torres y Corsi-Cabrera para el presente experimento y fue piloteada en un amplio grupo de sujetos control y en sujetos que ingirieron benzodiazepinas (Muñoz-Torres et al., 2005, 2008).



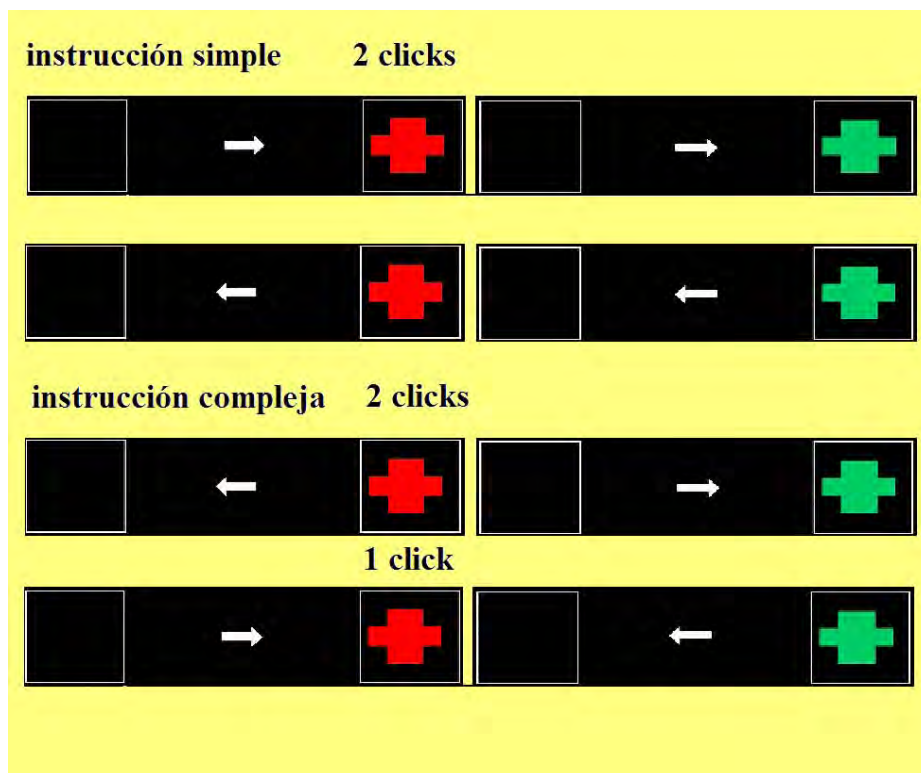


Figura 25. Tarea de Respuestas Guiadas por Reglas Arbitrarias Abstractas (TRERA) en su modalidad simple y compleja y el tipo de respuesta esperada, un click o dos clicks. La cruz o estímulo blanco es precedida por la flecha y por un estímulo de fijación (no mostrado).

#### **f) Tarea de Respuestas Defensivas (TRED)**

La Tarea de Respuestas Defensivas (TRED) evalúa la respuesta de defensa ante estímulos de agresión directa e indirecta, y requiere la toma de decisiones y la inhibición de respuestas impulsivas. La tarea consiste en la presentación sucesiva de un total de 60 imágenes a color una a la vez en el espejo del resonador mediante un proyector. Las imágenes se seleccionaron del “Internacional Affective Picture System” (Lang et al., 2005), 20 imágenes con el contenido de agresión directa (p. e., una persona con una pistola apuntando directamente), 20 de agresión a otros (p.e., una persona con un cuchillo al cuello de otra persona) y 20 agradables (p.e., 2 personas sonriéndose entre sí) (figura 26). Las 60 imágenes son presentadas entremezcladas al azar en dos versiones, una fue aplicada antes y la otra

después del tratamiento y en forma balanceada entre sujetos. Antes de cada imagen aparece un punto de fijación de color blanco (1 cm X 1 cm) sobre un fondo negro durante 500 ms y a continuación la imagen durante 700 ms seguida de un intervalo con pantalla negra en el cual el sujeto debe responder en un intervalo de 3000 ms eligiendo entre el botón 1: “bala” o el botón 2, “nada”. El intervalo interestímulo varía al azar entre 3.5, 4, 4.5, 5 ó 5.5 segundos. Cada versión presentada tiene una duración total de 6 minutos.

Para responder se coloca en la mano derecha del sujeto una caja con dos botones uno al lado del otro. En una sesión se le indica al sujeto que al escoger “bala” debe presionar el botón correspondiente al dedo índice y si se escoge “nada” entonces debe presionar con el dedo cordial el otro botón. En la segunda sesión se invirtió el uso de los dos dedos y se contrabalanceó entre sujetos el orden del uso de los dos dedos.

Las instrucciones se presentan al sujeto verbalmente antes de entrar al resonador “Usted debe imaginarse en una situación real y su tarea consiste en elegir lo más rápido que pueda entre responder “nada” o “bala” con un botón que corresponde a cada una de estas opciones, porque de lo contrario debe imaginar que resultará perjudicado”. Antes de iniciar la prueba en el espejo del resonador aparece por escrito cuál botón corresponde a cada respuesta. Los botones de la caja de respuestas se conectaron a la computadora de estimulación que se sincronizó con el resonador mediante fibra de vidrio.

Se midieron la frecuencia de respuesta de “bala” y la respuesta de “nada”, las omisiones y los tiempos de reacción para cada tipo de respuesta.

Esta tarea se diseñó expresamente en el laboratorio por Rosales-Lagarde y Corsi-Cabrera para el presente experimento y se probó antes de iniciar el experimento con un grupo piloto. En este grupo se administró 3 veces en diferentes versiones con el fin de comprobar la estabilidad intrasujeto de la preferencia por cada tipo de respuesta.

Lista de las imágenes del IAPS usadas en la TRED:

1300, 2811, 2660, 1931, 2550, 6250.1, 4641, 6300, 6314, 1710, 6212, 1930, 6350, 6244, 6571, 4626, 6230, 2530, 6312, 1726, 6313, 1050, 6560, 6830, 1460, 6315, 1321, 6561, 6510, 6360, 7640, 3500, 6540, 1750, 1932, 2050, 6242, 6550, 6260, 1920, 4599, 3530, 2383, 2057, 4621, 2058, 1303, 2682, 2540, 2070, 1525, 1811, 6836, 2332, 6821, 2683, 2391, 2694, 2688, 1112.



Figura 26. Toma de decisiones emocional en la Tarea de Respuestas Defensivas (TRED). Ejemplos de las imágenes de amenaza directa, amenaza indirecta y agradables.

### **g) Tarea de Evaluación Subjetiva de la Emoción (TESE)**

La respuesta emocional subjetiva de agrado y desagrado ante imágenes se evaluó con la Tarea de Evaluación Subjetiva de la Emoción (TESE). Esta prueba consiste en la presentación de 32 imágenes a color, 16 agradables y 16 desagradables en la pantalla completa de la computadora tomadas del “International Affective Picture System” (Lang et al., 2005). Para las imágenes agradables se escogieron las 16 imágenes con valencia positiva más alta y activación igual o mayor a 6. Para las imágenes desagradables se escogieron las 16 imágenes con valencia más baja y activación igual o mayor a 6. Las imágenes agradables tienen un contenido fundamentalmente erótico y las imágenes desagradables de valencia baja son de personas heridas. Cada imagen se presenta durante 3 segundos. A continuación aparece en el centro y parte superior de la pantalla un adjetivo en letras de color negro con fondo blanco y en la parte inferior una barra horizontal (22 cm de largo por 1.5 cm de

ancho) con un signo de más en el extremo derecho de la escala y un signo de menos en el extremo izquierdo. Después de elegir la respuesta tal como se indicará posteriormente, aparece otro adjetivo con su barra correspondiente hasta completar un total de 9 adjetivos. Los 9 adjetivos presentados azarosamente con respecto a cada imagen fueron: “asustado”, “atento”, “enojado”, “excitado”, “feliz”, “inquieto”, “tenso”, “tranquilo”, y “triste” (tomados de Ramos et al., 1996 y Flores et al., 2007). El sujeto debe seleccionar con el ratón el segmento de la barra que corresponda a la intensidad de su estado emocional (figura 27). Una vez seleccionada la respuesta el color de la barra cambiaba de color negro a color rojo. No hay límite de tiempo para la selección de la respuesta a cada adjetivo. La tarea tiene una duración aproximada de 20 minutos.

Las instrucciones por escrito en la pantalla con fondo blanco y letras de color negro son: “Una imagen aparecerá en la pantalla y a continuación usted deberá evaluarla por medio de ciertos adjetivos que representen NO lo que le manifiesta la imagen, sino lo que USTED siente al respecto de ella. Usted debe recordar la imagen porque aparecerá un adjetivo a la vez. Para cada adjetivo usted debe poner con el ratón el cursor en el nivel de la barra al que corresponda la intensidad de su estado emocional. Aparecerá un adjetivo, por ejemplo "alegre" y unas líneas como las que se muestran abajo. Deberá indicar picando con el cursor el rectángulo que represente el grado de su alegría: nulo, en el extremo izquierdo donde aparecerá el signo de "menos" o algo de esa emoción a todo lo largo de las líneas o mucha alegría en el extremo derecho. Recuerde que la extrema izquierda representa el nivel de menor intensidad de la emoción y por eso va a tener un signo de menos (-, no siente en lo absoluto esa emoción). La extrema derecha representa el nivel de mayor intensidad de la emoción y por eso va a tener un signo de más (+, siente esa emoción en extremo). Procure apretar la raya NEGRA y que ésta cambie a ROJO, lo que indica que se registró su respuesta. Su respuesta NO se registrará si aprieta en cualquier punto blanco. Cuando termine de evaluarla, aparecerá otra imagen. Trate de mantenerse lo más quieto posible y parpadear cuando esté evaluando la imagen y no cuando ésta aparezca”.

Se presentaron 3 versiones distintas, una antes del tratamiento, otra después del tratamiento y la última después de la noche de recuperación en forma contrabalanceada.

Se midieron la frecuencia de cada valoración (0 a 9) tanto ante las imágenes agradables como ante las imágenes desagradables y las omisiones.

Esta tarea se diseñó expresamente en el laboratorio por Rosales-Lagarde y Corsi-Cabrera para el presente experimento y se probó antes de iniciar el experimento con un grupo piloto. En este grupo se administró 3 veces en diferentes versiones con el fin de comprobar la estabilidad intrasujeto de la preferencia por cada tipo de respuesta.

Lista de las imágenes del IAPS usadas en la TESE:

8180, 3053, 3071, 8186, 3400, 8190, 3080, 4658, 8080, 4142, 3069, 4608, 3030, 3120, 4651, 5833, 3010, 8300, 8501, 3170, 3150, 3110, 4002, 3130, 4006, 4150, 3068, 3060, 4240, 3000, 3010, 4656.