



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
División de Ciencias Biológicas
Departamento de Ciencias Ambientales

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

Efectos de la neuroretroalimentación
sobre la ejecución de tareas de
atención y la actividad eléctrica
cerebral

Tesis

que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIA DEL COMPORTAMIENTO
(ORIENTACIÓN NEUROCIENCIA)**

presenta

Fernando Alcaraz Mendoza

Comité tutelar

Mtro. Sergio Meneses Ortega (Director)

Dra. Julieta Ramos Loyo

Dra. Araceli Sanz Martín

Guadalajara, Jalisco

Enero de 2009

Dedico este trabajo a:

Karen

a mi Padre

y a los miembros y asociados de la *casa del terror!!*

Agradecimientos:

Quiero agradecer especialmente al *Dr. Sergio Meneses Ortega* por toda su paciencia, tiempo y apoyo tanto para la realización de este trabajo como durante mis estudios, ya que lo que me enseñó abarca mucho más que lo que pueda reflejar este trabajo.

Quiero agradecer también a:

La *Dra. Julieta Ramos Loyo*, por su asesoría, su tiempo, el aporte de su amplio conocimiento y sus valiosos comentarios.

La *Dra. Araceli Sanz Martín*, por su apoyo, su interés en este trabajo, su asesoría y tiempo dedicado.

Al *Dr. Miguel Ángel Guevara Pérez*, por su tiempo dedicado y por las molestias tomadas sin las cuales este trabajo no sería el mismo.

Al Mtro. Rubén Celis Rivera, por su inspiración, motivación, apoyo durante todo este tiempo y en especial por su amistad y su gran calidad humana.

A la *Dra. Carolina Vizuet Durán*, por su amistad, compañía e interés en el transcurso de este trabajo, por su asesoría, apoyo y útiles sugerencias.

Quiero agradecer a todos los que participaron en este trabajo, en especial a Alex y a Esteban, por su colaboración, apoyo y amistad.

Quiero agradecer el apoyo brindado por el Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, ya que gracias a ellos pudo ser realizado este trabajo.

Índice

Resumen	.....	1
Abstract	.....	2
Introducción	.....	3
Capítulo 1 Retroalimentación biológica	.....	7
1.1 Aplicaciones	.....	9
1.2 Neuroretroalimentación (antecedentes)	.....	10
1.3 Interfase cerebro computadora	.....	12
Capítulo 2 Atención	.....	16
2.1 Generalidades	.....	16
2.2 Modelos principales	.....	17
2.3 Mecanismos cerebrales de la atención	.....	18
2.4 Pruebas para medir atención	.....	21
2.4.1 Prueba de desempeño continuo (CPT)	.....	21
2.4.2 Prueba de Stroop	.....	24
2.5 Trastorno por déficit de atención	.....	25
2.5.1 Marcadores biológicos del TDA	.....	26
2.5.2 Tratamientos	.....	27
Capítulo 3 Actividad eléctrica cerebral y neuroretroalimentación	.....	29
3.1 Actividad eléctrica cerebral y cognición	.....	29
3.1.1 Ritmo delta	.....	31
3.1.2 Ritmo theta	.....	32
3.1.3 Ritmo alfa	.....	36
3.1.4 Ritmo beta	.....	39
3.1.5 Ritmo gamma	.....	42
3.2 El EEG un reflejo de la actividad del cerebro	.....	43
3.3 Aprendizaje y EEG	.....	45
3.4 Neuroretroalimentación	.....	47
Capítulo 4 Trabajo experimental	.....	54
4.1 Planteamiento del problema	.....	54
4.2 Objetivos	.....	57
4.3 Hipótesis	.....	58
4.4. Método	.....	59
4.5 Procedimiento	.....	66
4.6 Análisis de resultados	.....	69
Capítulo 5 Resultados	.....	72
5.1 Control de las variables electrofisiológicas (EEG – EMG)	.....	72
5.1 Efecto de la neuroretroalimentación sobre la ejecución de tareas de atención	.....	74
5.2.1 Atención sostenida (CPTAX)	.....	74

5.2.2	Atención enfocada – dividida (Stroop)	77
5.3	Cambios en las bandas de Theta y Beta durante la retroalimentación	80
5.3.1	Amplitud pico a pico en las bandas de theta y beta en la derivación Cz	80
5.4	Cambio en la potencia relativa en las bandas de theta y beta en la línea media durante la BR.	82
5.4.1	Potencia relativa de theta	82
5.4.2	Potencia relativa de Beta1	84
5.5	Cambios en la potencia relativa de Theta y Beta durante el estado de reposo	86
5.5.1	Potencia relativa de Theta en reposo	87
5.5.2	Potencia relativa de Beta en reposo	89
5.6	Cambios en la potencia relativa de Theta y Beta durante la tarea de ejecución continua	90
5.6.1	Potencia relativa de Theta durante la ejecución de la prueba CPT	90
5.6.2	Potencia relativa de Beta1 durante la ejecución de la prueba CPT	90
5.7	Resumen de resultados	96
Capítulo 6	Discusión de resultados	98
6.1	Control operante de variables fisiológicas	98
6.2	Efecto de la biorretroalimentación sobre las tareas de atención sostenida	99
6.2.1	Atención sostenida (CPTAX)	99
6.3	Efecto de la biorretroalimentación sobre la actividad eléctrica cerebral	102
6.3.1	Cambios electrofisiológicos durante la biorretroalimentación (EEG y EMG)	102
6.3.2	Cambios electrofisiológicos en estado de reposo (Ojos abiertos)	104
6.4	Actividad eléctrica cerebral durante la prueba de desempeño continuo	106
Capítulo 7	Conclusiones y perspectivas	109
7.1	Conclusiones	109
7.1.1	Resultados principales	109
7.1.2	Conclusiones	110
7.1.3	Conclusión general	111
7.2	Aportaciones del estudio, limitaciones y perspectivas para estudios posteriores	113
	Referencias	115
	Anexos 1-5	122

Resumen:

El objetivo del presente trabajo consistió en analizar los efectos de la neuroretroalimentación (NR) sobre la atención sostenida y sobre la atención enfocada, así como posibles cambios en la actividad eléctrica de diversas regiones cerebrales en sujetos sanos.

En el estudio participaron 18 sujetos de sexo masculino, con edades entre 18 y 32 años, divididos en dos grupos. Al grupo EEG se le adiestró utilizando un protocolo para disminuir la potencia de theta (4-7 Hz) e incrementar beta (15-18 Hz); al otro grupo (grupo EMG) se le entrenó a disminuir su actividad electromiográfica. A los sujetos de ambos grupos se les dieron 20 sesiones de entrenamiento y se les aplicaron pruebas de atención antes y al terminar el entrenamiento, se evaluaron los cambios en la potencia relativa del EEG en las bandas utilizadas para la NR, en las siguientes condiciones: en reposo con ojos abiertos, durante la prueba de atención sostenida, y durante las sesiones 11 y 20 (en reposo y durante la NR, también se evaluó la amplitud pico (microvolts) de las sesiones 1, 11 y 20 del entrenamiento.

Los resultados mostraron que ambos grupos lograron controlar los parámetros electrofisiológicos utilizados en las sesiones de entrenamiento. El grupo EEG presentó una mejor ejecución en la prueba que evalúa el mantenimiento de la atención. Los resultados electrofisiológicos no indicaron cambios en la banda de theta relacionados con la neuroretroalimentación en ninguna de las condiciones evaluadas, el grupo EEG presentó mayor potencia relativa de la banda de beta durante la neuroretroalimentación y menor potencia de esta banda durante la ejecución de la prueba de atención sostenida después del entrenamiento.

Los resultados parecen indicar que la NR modificó la actividad de las estructuras cerebrales implicadas en el nivel de alerta, facilitando la ejecución de la tarea de atención sostenida.

Abstract:

The objective of the work consisted of analyzing the effects of Neurofeedback (NR) on the sustained attention, the focused attention and in the cerebral electrical activity in healthy subjects.

18 male subjects with ages between 18 and 32, whom were divided in two groups, participated in the study. A protocol was applied to the EEG group to diminish the theta power (4-7 Hertz) and to increase beta (15-18 Hertz) and the EMG group was trained to diminish its electromyographic activity. Each group received 20 training sessions and tests of attention were applied to them, before and after each training. The changes in the relative power of the EEG, in the bands used for the NR, in the following conditions were evaluated with the following conditions: at rest with opened eyes, during the test of sustained attention, and during sessions 11 and 20; the peak amplitude was also evaluated, in the Theta and Beta 1 bands, during sessions 1, 11 and 20 of the training.

The results showed that both groups managed to control the electrophysiological parameters used in the training sessions. Group EEG displayed better execution in the test that evaluates the sustained attention. There were no changes applied in the theta band related to Neurofeedback in any of the evaluated conditions. Group EEG presented greater relative power of Beta during neurofeedback and less during the execution of the test of sustained attention after the training.

The results seem to indicate that the NR modified the activity of the implied cerebral structures in the alertness level, making the execution of the task of the sustained attention easier.

Introducción:

La neuroretroalimentación consiste en el uso de instrumentación que permite a las personas monitorear su actividad eléctrica cerebral de manera que, por medios operantes, aprendan a controlar un cierto patrón eléctrico cerebral. Dicho entrenamiento ha sido principalmente utilizado en el tratamiento de distintos tipos de epilepsia y en pacientes con Trastorno por Déficit de Atención (TDA) (Kropotov *et al.*, 2004). A pesar de que existen numerosos estudios realizados que reportan efectos positivos utilizando esta técnica en los problemas antes mencionados (Kropotov *et al.*, 2004; Linden *et al.*, 1996; Lingenfelter, 2001; Monderer *et al.*, 2002; Vernon *et al.*, 2003; Wear, 1997; Xu *et al.*, 2002) existe falta de control en cuanto al protocolo de retroalimentación utilizado, las características de los sujetos, el tipo de cambio que se evalúa en el electroencefalograma (EEG) pre – post tratamiento, el uso de medicamentos durante el tratamiento, entre otros.

El entrenamiento operante para incrementar la actividad sensoriomotora (SMR 13 – 15 Hz) y la disminución de la potencia en las ondas tipo theta (4-7 Hz) se ha relacionado con mejoras sustanciales en la atención sostenida, tanto en sujetos con trastorno por déficit de atención como en sujetos normales (Vernon *et al.*, 2003). Por otra parte, protocolos de entrenamiento similares utilizando la banda de beta (16-20 Hz) en lugar de la de SMR, han sido utilizados de manera similar para el tratamiento de déficit de atención (Linden *et al.*, 1996), y en sujetos normales (Rasey *et al.*, 1996) con efectos positivos en la atención.

Aunque la mayor parte de los estudios realizados para mejorar la atención utilizando esta técnica han sido realizados en sujetos con TDA (Lingenfelter, 2001; Wear, 1997; Xu *et al.*, 2002), falta por determinar en sujetos sanos el efecto de la neuroretroalimentación en distintos parámetros de la atención, así como cambios en la actividad eléctrica cerebral.

Otros estudios (Egner & Gruzelier, 2004) han buscado determinar los efectos específicos que tiene cada protocolo sobre la atención sostenida, encontrando efectos diferenciales en el entrenamiento en cada banda. El entrenamiento en SMR (13-15) produce mejoras en la atención, mientras que el entrenamiento en beta (15-18 Hz) produce un incremento en el nivel de alerta de los sujetos, lo cual sugiere la necesidad de combinar ambos entrenamientos a fin de obtener todos los beneficios reportados.

Existen diversas publicaciones que proveen información respecto a los distintos protocolos de evaluación y tratamiento para mejorar la atención, epilepsia, insomnio, migraña y muchos otros problemas (Demos, 2005; Evans & Abarbanel, 1999; Schwartz & Andrasik, 2003; Thompson & Thompson, 2003). Sin embargo, éstos muestran una carencia de fundamentos experimentales ya que se basan en supuestos hipotéticos carentes de estudios controlados de manera adecuada. De modo que, se requieren estudios que sustenten los resultados obtenidos, tanto en los cambios electrofisiológicos como en la evaluación de variables relacionadas a procesos atencionales.

Dados los problemas metodológicos encontrados en los trabajos anteriores, nos parece importante realizar un estudio que permita observar los efectos de la neuroretroalimentación, tanto en procesos de atención como en la actividad eléctrica en distintas regiones cerebrales. Por otra parte, la utilización de un solo protocolo aislado, que permita identificar y atribuir el efecto del entrenamiento.

A pesar de que los diversos estudios antes mencionados, así como un sin número de reportes de casos (Fernandez & O'Connor, 2000; Lingenfelter, 2001; Wear, 1997), parecen indicar que existen resultados positivos en la neuroretroalimentación sobre la atención, existe una notable falta de sustento teórico – metodológico. El examinar los resultados de la

neurorretroalimentación en sujetos normales respecto a tareas que requieran atención sostenida y enfocada puede aportar datos relevantes que ayuden a observar el efecto real del tratamiento sobre la atención.

Dos pruebas que han sido ampliamente estudiadas para evaluar los procesos de atención son la Prueba de Desempeño Continuo (CPT), que refleja el desempeño en tareas de atención sostenida, y la prueba Stroop, que refleja procesos de atención enfocada/dividida. La utilización de ambas pruebas permite dar un marco de referencia sólido en cuanto a la evaluación de procesos atencionales. Por otra parte, ambas pruebas muestran poca o casi nula mejoría al evaluar sujetos en repetidas ocasiones, lo que las hace útiles para medir cambios en procesos de atención en registros intrasujeto.

Por lo anterior se planteó una investigación con el objetivo de observar el efecto de la neurorretroalimentación (incremento de la potencia en la banda de Beta -13-18 Hz- y disminución en la potencia en la actividad Theta -4-7 Hz-) sobre la ejecución de tareas de atención sostenida (CPT) y atención enfocada/dividida (prueba Stroop), así como los cambios en diversos parámetros de la actividad eléctrica cerebral, en distintas condiciones: reposo con ojos abiertos, durante la neurorretroalimentación y durante la ejecución de la prueba de atención sostenida.

La tesis se encuentra dividida en 7 capítulos, el primer capítulo se encuentra dedicado a los antecedentes de la neurorretroalimentación, las aplicaciones que históricamente ha tenido el control operante de respuestas fisiológicas, así como los estudios previos realizados al respecto.

En el segundo capítulo se detallan los procesos de atención así como los modelos existentes que buscan explicar dichos procesos, las pruebas más utilizadas y los trastornos asociados a las pruebas de atención.

El tercer capítulo habla de la actividad eléctrica cerebral (EEG), los ritmos en los que se clasifica así como los distintos procesos con los que cada ritmo se asocia, también se explica su relación con los procesos de aprendizaje y con la neuroretroalimentación.

El cuarto capítulo corresponde al reporte de investigación, aclarando el planteamiento del problema, objetivos e hipótesis, se detalla el método, que incluye la descripción de las características de los participantes, los procedimientos implementados, las pruebas utilizadas, los detalles del registro electrofisiológico y materiales utilizados.

En el quinto capítulo se expone la descripción de resultados. Presentamos por una parte los resultados de las pruebas conductuales (CPT y prueba Stroop), y por otro los resultados del registro electrofisiológico en las distintas condiciones (en reposo con ojos abiertos, durante la biorretroalimentación y durante la ejecución de la prueba de atención sostenida, también se incluye el análisis de los indicadores de aprendizaje en el control de las variables electrofisiológicas en los participantes.

El sexto capítulo corresponde a la discusión de resultados. En la cual se relacionan los resultados con estudios previos y se busca dar una explicación en sustentada de forma teórica a los resultados obtenidos.

El séptimo capítulo contiene las conclusiones e implicaciones del trabajo. En este segmento también se incluyen planteamientos para estudios posteriores y reflexiones en relación a las limitaciones de éste estudio.

Capítulo 1: Retroalimentación biológica

El punto de vista científico que prevaleció por varias décadas era que solamente el sistema musculoesquelético voluntario, cuya actividad es regulada por el sistema nervioso central, respondía al condicionamiento operante. Esta perspectiva sostenía que el sistema nervioso autónomo (SNA) funciona automáticamente, más allá de los elementos conscientes del sujeto, y fuera de su control voluntario. Se consideraba que sólo las respuestas reguladas por el SNA eran afectadas por el condicionamiento clásico (Schwartz & Olson, 2003).

Posteriormente, diversos estudios realizados con humanos y otras especies animales demostraron que el entrenamiento instrumental podía producir incrementos y/o decrementos en varias respuestas fisiológicas, incluyendo respuestas vasomotoras, presión sanguínea, salivación, respuesta galvánica de la piel, tasa cardíaca, etc. (i.e. Shapiro, Crider, & Tursky, 1964; citado en Lehrer, 2003).

La investigación indicó que los individuos pueden ganar control voluntario sobre varias funciones del SNA sin que estos aprendizajes puedan ser atribuidos a factores cognitivos. Un ejemplo de esto lo podemos encontrar en Miller y DiCara (1967) quienes observaron, en estudios con animales, que éstos podían aprender a generar cambios en las respuestas viscerales sin que mediara la actividad muscular, ya que dichos cambios pudieron ser registrados mientras los animales habían sido paralizados con curare (Citado en Lehrer, 2003). Otro ejemplo lo encontramos en Gruber y Taub (1998), quienes entrenaron a monos *Macaca fascicularis* a controlar la temperatura de la mano.

Así, la investigación realizada sobre el condicionamiento operante de respuestas viscerales, mediadas por el sistema nervioso periférico, contribuyó al desarrollo de la

biorretroalimentación (RB), generando equipos y modelos de trabajo bajo los principios del condicionamiento instrumental y permitiendo el control de las respuestas viscerales. Posteriormente, se añadieron elementos de control cognitivo a los modelos terapéuticos de esta técnica a partir de considerar que el aprendizaje humano está influido por una variedad de dimensiones relacionadas a factores cognitivos (Schwartz & Andrasik, 2003).

Actualmente, la biorretroalimentación es considerada como parte de la psicofisiología aplicada. *“La psicofisiología involucra el estudio científico de la relación entre los procesos fisiológicos y los procesos cognitivos”* (Schwartz & Olson, 2003), por lo que la biorretroalimentación en la práctica clínica ayuda a las personas a modificar su comportamiento a partir del control de sus respuestas fisiológicas.

La biorretroalimentación se basa en el concepto de la autorregulación y de la unicidad organismo – conducta. Esta rama de la psicología que, en un principio obtuvo poca credibilidad, actualmente es cada vez más aceptada y su práctica ha sido regulada existiendo varios organismos encargados de ello (i.e. BCIA, AAPB), Además, ha mostrado su efectividad en el tratamiento de diversos problemas de salud relacionados con la calidad de vida y el estrés, lo que ha originado que algunas compañías de seguros médicos, tanto en Estados Unidos como en Canadá, incluyan en sus paquetes los servicios de biorretroalimentación, lo cual es un dato importante porque dichas compañías se basan en criterios estadísticos de “costo – efectividad” al ofrecer una opción de tratamiento.

1.1 Aplicaciones

Uno de los mayores campos de intervención de la biorretroalimentación ha sido el manejo de problemas de salud relacionados al estrés, esto gracias a las contribuciones de Walter Cannon quien, en 1937, describió la respuesta de pelea o huida y los principios del balance homeostático en el sistema nervioso autónomo (Schwartz & Olson, 2003).

La sintomatología del estrés es muy variada y depende de las características biológicas del individuo, sus mecanismos de afrontamiento y el tipo de estresor, así, el desgaste biológico y por lo tanto la sintomatología (órgano blanco) estarán en función al eje activado por el estrés (neural, neuroendocrino y endocrino). En virtud de que la sintomatología del estrés es muy variada, se utilizan distintas modalidades de biorretroalimentación de acuerdo con el problema presentado. Por ejemplo, el entrenamiento en relajación muscular e incremento en la temperatura periférica en control de cefaleas vasculares, el tratamiento de cefaleas tensionales controlando la actividad eléctrica muscular (EMG) de los músculos pericraneales, el tratamiento del síndrome de colon irritable regulando las contracciones de este, la regulación de la presión sanguínea para tratamiento de problemas de hipertensión arterial, etc. (i.e Lehrer, 2003; Schwartz & Andrasik, 2003; Andreassi, 2000). Otra aplicación importante de la biorretroalimentación en el manejo de los problemas asociados con el estrés son el entrenamiento en técnicas de respiración, en el control de la tasa cardiaca y en la arritmia sinuo respiratoria (oscilaciones en el ritmo cardiaco que acompañan la respiración cuando ésta es lenta y abdominal), en el tratamiento de problemas cardiovasculares y el control de la presión sanguínea (Lehrer, 2003).

La BR también ha sido utilizada para el re-entrenamiento muscular en pacientes que han sufrido accidentes que los han llevado a la pérdida o disminución del control de músculos o grupos musculares, o que han perdido miembros que pueden ser reemplazados por prótesis controladas a partir de su conexión con fibras musculares sanas del miembro perdido (Fogel, 2003).

Otro campo de aplicación de la BR es en la psicología del deporte, Schmidh y Peper (1992), enseñaron a atletas a controlar la sudoración o Electrodermografía (EDR) y tasa cardíaca (HR), para el control de estrés, incrementar la concentración, y el control de pensamientos y emociones, favoreciendo el desempeño en equipo en competidoras de gimnasia rítmica (citado en Schwartz & Andrasik, 2003).

1.2 Neuroretroalimentación (antecedentes)

De acuerdo con Thompson y Thompson (2003), la biorretroalimentación de la actividad eléctrica cerebral (o neuroretroalimentación) está fundamentada en dos supuestos básicos: 1) la actividad eléctrica cerebral refleja el estado mental y 2) que dicha actividad puede ser entrenada por condicionamiento operante. De igual manera, afirman que tanto humanos como en otros animales, al cambiar sus patrones de actividad eléctrica cerebral muestran cambios en el comportamiento.

A finales de los 60's Serman descubrió un ritmo entre los 12 y los 15 Hz en gatos producido en la corteza sensoriomotora cuando éstos se encontraban quietos, esperando el reforzador y lo denominó ritmo sensoriomotor (SMR). Posteriormente, encontró que estos animales eran capaces de producir dicho ritmo de manera operante al utilizar reforzadores

asociados condicionalmente con el aumento en la amplitud del ritmo esperado (Serman & Tobias, 2006).

De manera cuasi accidental, descubrió que los gatos entrenados en producir SMR eran resistentes a la hidracina, un compuesto tóxico que suele provocar crisis epilépticas.

El SMR es uno de los ritmos más estudiados dentro de la neuroretroalimentación, de acuerdo con Serman y Egner (2006), refleja oscilaciones talamocorticales sincronizadas originadas por una reducción en la entrada propioceptiva del tálamo ventrobasal, generando como resultado conductual en un decremento de la actividad muscular y supresión de movimiento. En el contexto de la atención orientada, estas oscilaciones proyectan fuertes aferencias a neuronas corticales lo que resulta en potenciaciones a largo plazo en la corteza con los cambios motores mencionados. Este proceso también se acompaña en una reducción del nivel de alertamiento. Estos cambios son establecidos y consolidados a lo largo del tiempo lo que hace que se presenten fuera del contexto del entrenamiento con NR.

J. Lubar, quien trabajó con Serman, observó que en varios desórdenes epilépticos los sujetos presentan hiperactividad y que ésta disminuye con el entrenamiento para producir SMR. A partir de este punto, la neuroretroalimentación ha sido utilizada principalmente como un tratamiento alternativo para los sujetos con Trastorno por déficit de Atención (TDA) y de igual manera para el tratamiento de distintos tipos de epilepsia (citado en Thompson & Thompson, 2003).

Como ya se dijo antes, uno de los principales campos en los que se ha utilizado la neuroretroalimentación es en el tratamiento de la epilepsia. La aplicación de este tratamiento, parece indicar que no sólo el incremento en SMR, sino también la autorregulación de ciertos componentes, como es el caso de los potenciales corticales lentos, disminuye la sintomatología en ciertas patologías caracterizadas por una falla en la

regulación cortical del nivel de alertamiento, como lo es el TDA y la epilepsia (Vernon *et al.*, 2003).

Sin embargo Monderer *et al.*, (2002), hacen una revisión de distintos trabajos realizados con neuroretroalimentación para el tratamiento de epilepsia y concluyen que los experimentos realizados en las pasadas tres décadas indican un efecto positivo en los objetivos de dichos tratamientos. Sin embargo, no hay consenso en cuanto a los procedimientos o protocolos de neuroretroalimentación a utilizar para lograr mejores resultados. Por otra parte, la mayoría de los estudios disponibles son pobres metodológicamente, ya que utilizan muestras reducidas de sujetos, poca uniformidad en las características de los sujetos y en las características específicas del tipo de epilepsia.

1.3 Interfase Cerebro Computadora

Otra aplicación de la neuroretroalimentación es en un área que se conoce como Interface Cerebro – Computadora (Brain Computer – Interfase “BCI”), en esta se desarrollan dispositivos que posibilitan a personas con alguna incapacidad física a controlar equipos electrónicos, sin el uso de la actividad muscular. Para lograr dicho control se utiliza la actividad eléctrica cerebral de los sujetos. Básicamente los sistemas BCI proveen un sistema no muscular para transmitir mensajes o comandos al mundo externo. Esto indica un nuevo paradigma en las neurociencias: “El estudio del comportamiento más allá de los músculos y los nervios” (Kaplan *et al.* 2005).

El principal mecanismo para el entrenamiento en la autorregulación de los patrones de onda cerebrales es la neuroretroalimentación, en la cual a partir del paradigma del

condicionamiento operante, el sujeto aprende a controlar la actividad eléctrica de su cerebro.

Las técnicas varían ampliamente, entre las más utilizadas están la utilización de imaginería por movimiento, por ejemplo el imaginar que mueve el brazo derecho para mover el cursor en una computadora hacia arriba o imaginar el movimiento de la pierna izquierda para moverlo hacia abajo, con lo cual se elicitan cambios en las frecuencias en el rango de los 8 a los 12 Hz (Krausz et al., 2003). Otra técnica es el condicionamiento operante por retroalimentación en el que se establecen criterios de logro respecto al cambio en la actividad eléctrica cerebral del sujeto y dando reforzamiento generalmente otorgando puntos u otras formas de informar (retroalimentación) al paciente que cumplió el criterio de logro. Dichos criterios de logro son incrementados de manera gradual permitiendo al sujeto ir adquiriendo un control progresivo de la tarea (Hinterberger et al, 2005).

Al entrenar a los pacientes bajo el paradigma del condicionamiento operante se considera que los sujetos deben aprender a mover el cursor sin utilizar una estrategia en particular “simplemente procurando no pensar y moviéndolo”, esto es reforzado por la retroalimentación del aparato, sin embargo los sujetos, durante las primeras fases, reportan desarrollar estrategias cognitivas de apoyo tales como la utilización de recuerdos positivos o imaginar que mueven alguna parte de su cuerpo; más adelante en el entrenamiento ellos reportan dejar de utilizar dichas estrategias y poder mover el cursor de manera natural y automática, aunque también reportan regresar a la estrategia cognitiva cuando el modo automático falla (Curran & Stokes, 2003).

Otra metodología de entrenamiento es la utilización de estrategias cognitivas, las más comunes están relacionadas con imaginación de movimientos en ciertas partes del

cuerpo y operaciones matemáticas. Otras menos comunes son: rotar cubos imaginarios, imaginar escribir una carta, etc. (Birbaumer et al., 1999).

También, se ha utilizado el condicionamiento inconsciente a partir de preferencias de colores mostradas de manera contingente a cambios en ciertos patrones del EEG (i.e. alfa, beta), En esta técnica se busca incrementar la respuesta eléctrica cerebral en una banda determinada asociada a la presentación de un color de acuerdo a su preferencia(i.e. azul – alfa), de tal manera que el sujeto únicamente tenga que ver ese color en particular para generar una variación en una frecuencia determinada (Kaplan et al. 2005).

Cada técnica tiene ventajas y desventajas. Por ejemplo algunas requieren un mayor número de ensayos para aprender a mover el cursor y no todos los sujetos consiguen lograrlo, aunque a la larga tiende a ser una estrategia menos cansada para el sujeto. Por otra parte, los sujetos entrenados en estrategias cognitivas aprenden a controlar su actividad eléctrica cerebral más rápidamente, pero este procedimiento requiere un esfuerzo mayor y es muy cansado para los pacientes. Además las estrategias cognitivas no se aplican por igual a todos los sujetos ya que se conoce muy poco de los correlatos electroencefalográficos de manera que permita establecer patrones de retroalimentación específicos, sin embargo, los sujetos que han utilizado esta estrategia por periodos prolongados reportan hacerlo de manera automática “únicamente moviendo el cursor” (Birbaumer et al., 1999).

Uno de los problemas más importantes es la falta de automatización para el control del BCI ya que el sujeto, aun después de años de entrenamiento, tiene que realizar un importante esfuerzo ya sea para mover directamente el cursor o para mantener el estado mental correspondiente, concentración y/o las imágenes propias a fin de controlar su actividad eléctrica cerebral (Kaplan et al., 2005).

Los ritmos y montajes mayormente utilizados para el control de la actividad eléctrica cerebral en los equipos BCI son los siguientes:

- Potenciales Corticales Lentos (Slow Cortical Potentials – SCP) con registro en la zona Cz con referencia A1 y/o A2 (Birbaumer et al., 1999).
- El ritmo Mu en montajes C3-C4 (bipolar) y C4-A2 / C3-A1 (monopolares) (Krausz et al. 2003).
- Aumento en la amplitud en el rango de 8 a 30 Hz, en montajes C3 y/o C4 (Babiloni et al 1999; citado en Curran & Stokes, 2003).
- Electroencefalograma (EcoG) utilizando frecuencias gamma de hasta 180 Hz asociados a imaginación (Leuthard et al, 2004)
- Generación de la onda P300 (Bayliss et al 2004)

Capítulo 2: Atención

2.1 Generalidades

Atendemos al mundo que nos rodea gracias a una red de procesos fisiológicos que han sido modulados por nuestra interacción con el medio. Aprendemos a seleccionar de manera discriminativa elementos del contexto en el que nos encontremos con el fin de generar una respuesta específica. Esta selectividad es regulada por diversos procesos fisiológicos, de modo que es necesario estudiar y conocer dichos procesos ya que dependemos de ellos para adaptarnos a los cambios y exigencias diarias de nuestro entorno y son la base para la ejecución de casi cualquier respuesta comprendida en el repertorio conductual del sujeto e incluso en lo que a respuestas reflejas concierne.

Existen distintos modelos que representan y explican los procesos de atención en cuanto al sustrato fisiológico que los subyace (modelo de Mesulam, 1981, modelo de Mirsky, 1987; citados en Meneses, 2006; y el modelo de Posner y Petersen, 1990). Aunque es importante conocer las regiones del sistema nervioso central involucradas en los procesos de atención, no es posible asignar la localización de procesos muy específicos en cada componente de la red ya que esta funciona como tal, a partir de la interacción de distintas zonas o regiones, cada una con un peso específico a cada componente funcional.

La postura localizacionista es una característica en los modelos propuestos por Mesulam y Posner y Petersen (1990), es decir que cada una de las características: (i.e. el alertamiento, los aspectos motivacionales) corresponden de manera específica y reservada a un área o zona del Sistema Nervioso Central (SNC). La visión alternativa propuesta varios autores (Mirsky, 1987), como ya se mencionó sería que cada función depende de una red neuronal, es decir de la interacción y cooperación de varias regiones del cerebro.

2.2 Modelos principales

Modelo de Mesulam (1981)

Este autor se basa en la idea de que no hay una región específica encargada particularmente de los procesos de atención, pero tampoco la considera como la resultante de un cerebro trabajando como un todo, a lo cual propone una red neuronal constituida por cuatro regiones cerebrales, cada región encargada de procesos específicos y funciones distintas en la atención. Por otra parte este autor propone cuatro sub-procesos que dan soporte al proceso de atención: a) Nivel de alertamiento, b) Orientación a hacia estímulos relevantes, mediada por un sistema que permite la representación espacial del mundo, c) regulación de aspectos motivacionales, que medía la selección de estímulos relevantes y d) orientación hacia los estímulos relevantes y coordinación de acciones motoras.

Modelo de Mirsky (1987)

Propone cuatro factores que engloban el proceso de atención: a) enfocamiento de la atención, asociado con la velocidad perceptual y motora; b) atención sostenida, que concierne al estado de vigilancia que se presenta a lo largo de del tiempo; c) codificación, que se refiere al procesamiento de información requerido para la atención y d) flexibilidad, se refiere al cambio de estrategias y orientación a estímulos novedosos del ambiente. Mirsky propone que los subprocesos que comprende el proceso de atención, están sustentados en redes con elementos localizados en distintas regiones del SNC.

Modelo de Posner y Petersen (1990)

Posner y Petersen sugieren un modelo compuesto de tres redes neuronales que soportan tres componentes básicos del proceso de atención: 1) el sistema de vigilancia, que corresponde al mantenimiento del nivel de alerta; 2) el sistema de atención anterior, se encarga de la detección de señales para su procesamiento consciente y 3) el sistema de atención posterior, que trabaja en la orientación hacia los estímulos sensoriales que se presentan en el ambiente.

2.3 Mecanismos cerebrales de la atención

– La formación reticular: la *formación reticular* del tallo cerebral, se encarga de incrementar y mantener el nivel de alerta. Evidencia experimental que apoya dicho argumento la podemos encontrar en el trabajo de Moruzzi y Magoun (1949), quienes encontraron que al estimular la formación reticular en gatos anestesiados provocaban, a nivel cortical, una respuesta en el registro electrofisiológico, similar a la observada durante la vigilia. Aunado a esto, Siegel (1979) observó que las neuronas de la formación reticular responden a una o más modalidades sensoriales. Por otra parte, Bremen (1953) demostró que al seccionar el tallo cerebral a la altura del mesencéfalo se produce un estado de respuesta semejante al sueño. Por su parte Mirsky propone que esta área, en conjunto con los núcleos reticulares del tálamo, está relacionada con la atención sostenida (tomado de Meneses, 2006).

– Un sistema neuroquímico que parece tener un papel importante en el mantenimiento del nivel de alerta es el sistema noradrenérgico del locus coeruleus, se ha

observado que sujetos con daño en el hemisferio derecho indican que este hemisferio está fuertemente implicado en el mantenimiento del nivel de alerta, parece existir cierta interacción entre ambos elementos. Aunado a esto existe evidencia de que el sistema noradrenérgico del locus coeruleus tiene amplias ramificaciones en el hemisferio derecho, con una densidad mayor que en el izquierdo (Heilman y cols. 1985; citado en Meneses, 2006).

– La corteza parietal posterior (dorsolateral): En el modelo de Mesulam se considera la *corteza parietal posterior* como la responsable de la representación espacial del mundo exterior. Procesa información necesaria para la orientación y respuesta contextual. Sujetos con lesión cerebral en esta zona presentan un síndrome denominado hemi-inatención, ya que no responden a estímulos presentados en el campo visual de la zona contralateral a la lesión. Dicho fenómeno se muestra de manera más pronunciada cuando la lesión se presenta en el hemisferio derecho, afectando incluso los campos visuales en ambos lados. Mirsky señala la corteza parietal superior, el lóbulo parietal inferior, el núcleo caudado, el putamen y los núcleos reticulares del tálamo como responsables del enfocamiento de la atención. Esta zona de la corteza requiere de otras estructuras como son el colículo superior, los campos oculares frontales y el pulvinar, relacionados con movimientos oculares orientados a la localización de estímulos específicos. Junto con el núcleo pulvinar del tálamo y el colículo superior, la corteza parietal posterior constituyen el sistema de atención posterior en el modelo de Posner y Petersen.

– La circunvolución del cíngulo: Ésta región participa en el componente motivacional que va a afectar la selección de estímulos y darles el carácter de relevante, por lo que es considerado como el componente límbico de la atención. Levine y cols., 1986 (en Meneses 2006) reportan que pacientes con lesiones en esta área provocan un síndrome de

hemi-inatención igual al que presentan los pacientes con lesiones en la corteza parietal posterior. Diversos estudios indican que esta región manda proyecciones tanto a la corteza frontal como a la corteza parietal posterior. En el modelo de Posner y Petersen la circunvolución del cíngulo es uno de los componentes implicados en la detección de estímulos del ambiente. Posner y cols., (1988, citado en Meneses 2006), encontraron incrementos en el flujo sanguíneo en la circunvolución del cíngulo en función a la dificultad de la tarea.

– La corteza frontal: En relación al modelo de Mirsky, la corteza prefrontal está relacionada con la capacidad para cambiar el foco de atención, este aspecto suele ser evaluado con la prueba de cartas de Wisconsin. La corteza prefrontal medial, la circunvolución del cíngulo y el área motora suplementaria conforman los elementos que componen la red responsable del sistema de atención anterior de acuerdo con el modelo de Posner y Petersen (1990). El modelo de Mesulam (1981) considera que el área de los campos oculares frontales, contiene los programas motores que dirigen las secuencias exploratorias orientadas a ubicar estímulos relevantes, incluyendo acciones motoras en función a dichos estímulos. Lesiones en la corteza frontal producen el síndrome de hemi-inatención, al igual que las lesiones en la corteza parietal y la circunvolución del cíngulo (tomado de Meneses, 2006).

La evidencia experimental muestra que ante tareas que requieren la utilización de recursos atencionales complejos que permitan la selección de determinadas cualidades de los estímulos, como ocurre en el caso de la prueba Stroop, es notoria la activación de la corteza frontal (West & Bell, 1997).

2.4 Pruebas para medir la atención

Una de las mayores dificultades que se encuentran al estudiar los procesos de atención se refiere a la selección de pruebas y escalas confiables que permitan una adecuada medición de los distintos aspectos que engloba el concepto de atención. Existen distintas pruebas utilizadas para medir la atención (i.e. TOVA, IVA, CPT, Stroop, etc.), dentro de las más utilizadas en la investigación están la Continuos Performance Test o prueba de rendimiento continuo (CPT) y la prueba Stroop. Cornblatt y Keilp (1994), realizaron una revisión de estudios en los cuales se utiliza la CPT como una medida primaria de atención. Por otra parte, la prueba Stroop ha sido considerada como uno de los puntos de referencia de las medidas de atención, tanto dentro como fuera de la psicología cognitiva (MacLeod, 1992).

2.4.1 Prueba de desempeño continuo (CPT)

La CPT es una familia de pruebas que comparten ciertas características: 1) la presentación rápida de una larga serie de estímulos, 2) el requerimiento de que el sujeto responda ya sea a un blanco designado o a una secuencia específica de estímulos y 3) una relativa baja probabilidad de ocurrencia del estímulo prueba, generalmente alrededor del 10 o 20% (Cornblatt & Keilp, 1994).

El evento blanco en la CPT suele ser la aparición de un estímulo simple (i.e. la letra “X” en una secuencia de letras), o un estímulo que aparece en un contexto particular por ejemplo la letra “X” sólo cuando aparece después de la letra “A”, esta última es denominada CPT-AX, o bien cuando el estímulo aparece por segunda vez en forma

consecutiva, por ejemplo, la aparición de una letra “X” precedida por otra letra “X”, a esta prueba se le denomina CPT-XX (Elvevag et al., 2000).

Por otra parte, la CPT es aplicada por intervalos de tiempo relativamente largos, así la habilidad de mantener la atención a través del tiempo es esencial para ejecutar exitosamente la CPT (Cornblatt & Keilp, 1994).

La CPT ha sido ampliamente utilizada en investigación, por ejemplo, se ha utilizado para medir déficit en la atención sostenida en pacientes esquizofrénicos (Elvevag *et al.*, 2000), en pacientes con lesiones cerebrales o en niños con déficit de atención.

Cornblatt y Keilp (1994), basados en los estudios de Nuechterlein (1991), señalan que las versiones clásicas de la CPT (XX y AX) parecen ser confiables y capaces de detectar rasgos de la atención que son estables en intervalos prolongados.

Utilizando la versión CPT-XX, Rosvold et al (1956) (citado en Cornblatt & Keilp, 1994), encontraron que sujetos con daño neurológico se desempeñan pobremente, esto de manera independiente del CI del sujeto, demostrando que los déficit atencionales a los que la CPT es sensible están relacionados con un impedimento neurológico.

Las pruebas CPT han sido ampliamente utilizadas para medir el mantenimiento en el nivel de vigilancia y cambios psicofisiológicos asociados (Arruda *et al.*, 1999; Valentino *et al.*, 1993; Valentino & Dufresne, 1991). Arruda *et al.*, (1999), aplicaron una CPT auditiva versión XX con una duración total de 23 minutos, dicha prueba fue dividida para su análisis en 4 bloques con lo cual mostraron una caída progresiva en el porcentaje de respuestas correctas y un incremento también progresivo en el tiempo de reacción asociado este último con el nivel de vigilancia del sujeto.

Keilp *et al.*, (1996), estudiaron en sujetos normales los cambios en el nivel de activación cerebral con la técnica SPECT, utilizando 2 variantes de la prueba CPT versión

XX. La primera consistió en series de 4 números, la segunda en formas sin sentido. Los resultados del experimento indicaron básicamente que en ambas pruebas se incremento el nivel de activación en las regiones subcorticales anteriores y posteriores en el hemisferio izquierdo, incluyendo principalmente los ganglios basales y el tálamo, la materia blanca subcortical y la parte izquierda anterior del giro del cíngulo. Dichas áreas relacionadas con la ejecución de la CPT parecen estar implicadas en la atención y en la memoria de trabajo. Durante la CPT en la que se presentaron formas como estímulos, se observó, además, un incremento en el nivel de activación de la región occipital lo cual sugiere que este tipo de estímulo demanda una revisión visual más prolongada en lugar de un proceso analítico.

Por otra parte, este instrumento es poco sensible en sus versiones originales a cambios en la atención en sujetos normales. Cohen y Servan-Schreiber (Elvevag et al., 2000), sugieren que introduciendo asimetría en la fuerza de la respuesta, esto es variando la frecuencia con la cual el estímulo blanco aparece, la CPT se hace más sensible. Esta variante ha sido empleada para valorar pacientes con esquizofrenia. También sugieren que incrementando el tiempo entre un estímulo y otro la prueba aumenta su sensibilidad a problemas en la representación interna del contexto. Sin embargo, este tipo de problemas se asocian más a la memoria de trabajo ya que los déficits que suelen evidenciarse ante la aplicación de la CPT-AX están relacionados con la disponibilidad de recursos de procesamiento, ya que en esta tarea el sujeto debe mantener la información del estímulo en memoria entre un estímulo y otro (Elvevag et al., 2000), por lo que al aumentar el tiempo entre la aparición de los estímulos, el sujeto requerirá de mayores recursos de memoria de trabajo.

Así, variaciones en la CPT la hacen más sensible a distintos recursos cognoscitivos, como lo reportan (Elvevag et al., 2000), quienes encontraron diferencias en el número de

errores por omisión y comisión tanto en sujetos normales como en pacientes esquizofrénicos al incrementar la probabilidad de aparición del estímulo blanco del 17% al 50%, lo anterior nos da un parámetro a seguir en cuanto a la aplicación de la CPT para medir cambios en la atención en sujetos normales.

2.4.2 Prueba de Stroop

MacLeod (1992), en un artículo de revisión destaca la prueba Stroop como una de las pruebas más estudiadas desarrollada por J. Ridley Stroop en 1935, este autor menciona que dicha prueba es sensible a una serie de factores neuropsicológicos como daño cerebral, edad (Cohn *et al.*, 1984), Tinnitus (Andersson *et al.*, 2000), influencias genéticas (Johnson *et al.*, 2003), etc.

La prueba de Stroop consiste en la presentación de estímulos multidimensionales que deben ser procesados bajo un control atencional. Esta prueba requiere que los participantes nombren el color o el significado de estímulos incongruentes (Siegrist, 1997). El resultado más importante en esta prueba es la diferencia entre el tiempo para denominar colores plasmados en palabras que refieren a colores incongruentes, en comparación con la denominación de las mismas palabras. La variable más importante es el tiempo total requerido para nombrar los estímulos presentes en cada tarjeta. En la versión tradicional de la prueba Stroop, el tiempo que tardan en nombrar el color con el que están escritas las palabras suelen ser de 50% a 100% mayor, que cuando tienen que leer la palabra (Dyner, 1973).

De acuerdo con MacLeod (1992), el efecto Stroop revela un fenómeno atencional y se presenta en forma muy confiable. La prueba de Stroop está relacionada con la habilidad general de ignorar estímulos irrelevantes (Siegrist, 1997). El efecto Stroop es más notorio

cuando el sujeto tiene que nombrar colores con los cuales están impresas palabras que hacen referencia a colores incongruentes que a la inversa (leer palabras impresas en un color incongruente al que denominan). Sin embargo Stroop encontró que una práctica intensiva en nombrar colores causa un substancial incremento en el tiempo necesitado para leer las palabras en este tipo de carta de interferencia (Dyner, 1973). El efecto parece deberse a la activación de un proceso automático relacionado con la lectura de las palabras que interfiere con un proceso controlado necesario para nombrar el color.

De acuerdo con Treisman (1969), el efecto Stroop es provocado por una falla en la atención selectiva para enfocarse en la dimensión color y bloquear la entrada a la palabra leída; de hecho la atención es dirigida hacia ambos aspectos del estímulo, generando un procesamiento en paralelo provocando el efecto de interferencia. Por otra parte, Morton's (1969), sugiere que la interferencia ocurre en el nivel de la emisión de la respuesta, no es el procesamiento de los estímulos. Menciona que existe un sólo canal de respuesta, de tal manera que la respuesta de lectura de la palabra es más rápida y tiende a ocupar el canal de respuesta antes que el nombrar el color (citados en Dyner, 1973).

2.5 Trastorno por déficit de atención

El Trastorno por Déficit de Atención ó TDA aparece de manera temprana en el sujeto, comúnmente antes de los 7 años. La prevalencia se considera del 3 al 5% de los niños en edad escolar y es más común en los varones. Aparentemente, existe un componente genético asociado ya que aumenta la prevalencia entre parientes biológicos en primer grado (tomado del DSM-IV, 2001).

2.5.1 Marcadores biológicos del TDA

Distintos estudios han observado que los sujetos con TDA muestran una abundante proporción de actividad theta en zonas centrofrontales y una reducida actividad beta en las mismas zonas (Clarke *et al.*, 2002; Clarke *et al.*, 2001a; Clarke *et al.*, 2001b; Monastra *et al.*, 2001; Monastra *et al.*, 1999). Dicha actividad electroencefalográfica se ha asociado con una hipoactivación cortical producida por un déficit maduracional (Clarke *et al.*, 2002).

En los estudios de Monastra *et al.*, (1999 y 2001) con muestras de 469 sujetos de entre 6 y 20 años el primero, y de 482 sujetos de entre 6 y 30 años el segundo, compararon sujetos con TDA (tipo inatento, combinado e hiperactivo), con sujetos normales y observaron que las proporciones en las potencias theta (4-8 Hz) y beta 1 (13-21 Hz) eran notablemente más elevadas en los sujetos con TDA, principalmente ante tareas de tipo académico que requieren recursos atencionales (i.e. matemáticas, lectura, atender a una explicación).

En cuanto a los subtipos, el subtipo combinado muestra de manera más marcada esta diferencia en comparación al inatento, aunque se ha mencionado que algunos sujetos clasificados como tipo combinado presentan un patrón de excesiva actividad beta (Clarke *et al.*, 2001a). Otros autores (Monastra *et al.*, 1999), observaron que los sujetos con TDA principalmente los que presentan predominio de hiperactividad presentan una mayor proporción de theta en relación a la potencia en beta lo cual aparentemente es un reflejo de baja actividad metabólica en zonas centrofrontales que implican una disminución en las funciones inhibitorias y de autocontrol relacionadas con dichas regiones.

Varios estudios (Clarke *et al.*, 2002; Clarke *et al.*, 2001a; Monastra *et al.*, 1999), reportan que la actividad theta se encuentra de manera predominante en las zonas centro

frontales y la actividad beta se encuentra reducida en las mismas zonas., dichos resultados han sido reportados como baja actividad metabólica en las zonas correspondientes.

Otros marcadores utilizados para evaluar el TDA son los potenciales relacionados con eventos. Se han detectado diferencias en varios componentes, como lo es la reducción en la amplitud del componente Nd, el cual parece reflejar la focalización y respuesta temprana ante un canal sensorial (Barry *et al.*, 2003). Zambelli et al. (1977) reportaron que dicho componente se muestra estable a lo largo del desarrollo del sujeto a pesar de la reducción de los síntomas (citado en Barry *et al.*. Otro indicador importante de los PRES en los sujetos con TDA es la reducción en la amplitud del componente P300, asociado con la asignación de recursos atencionales al estímulo, reportado por Kemner *et al.* (1996).

2.5.2 *Tratamientos*

Los tratamientos utilizados para el manejo del TDA son muy diversos, los más comunes son entrenamiento en manejo conductual, terapia familiar, entrenamiento en estrategias de estudio, entrenamiento en estrategias metacognitivas (Thompson & Thompson, 1998) uso de medicamentos estimulantes (i.e. Methylphenidato) y/o medicamentos antidepresivos (i.e. inhibidores de la mono aminoxidasa) (Barkley, 2006).

Una nueva familia de tratamientos que ha ido tomando fuerza en las 3 últimas décadas son los tratamientos basados en tecnología computacional (Xu et al., 2002), ésta familia incluye muy diversos tratamientos, algunos de los más utilizados son:

- Instrucción asistida por computadora: Este tratamiento consiste en una serie de tareas académicas elaboradas a manera de juego (i.e. matemáticas, lectura de comprensión, etc.) con las cuales el niño recibe reforzamiento continuo y oportunidades múltiples de

responder cuando se equivoca, el niño obtiene puntuaciones y puede jugar contra un compañero o contra la computadora.

- Entrenamiento cognitivo asistido por computadora: Éste sistema consiste en una serie de juegos que ejercitan en el niño, atención, memoria de trabajo, resolución de problemas y coordinación mano- ojo, utilizando para ello tareas como la CPT.

- Biorretroalimentación del EEG o neuroretroalimentación: ésta técnica ha crecido en popularidad en los últimos años de manera que actualmente en Estados Unidos existen más de 2000 profesionales que ofrecen este servicio. La técnica consiste en el uso del paradigma del condicionamiento operante para el control de la actividad eléctrica cerebral, dado que una de las características comunes en los sujetos con TDA como ya se mencionó con anterioridad es la excesiva producción de ondas Theta y relativamente baja producción de ondas tipo Beta, así esta técnica pretende entrenar a los sujetos con TDA a modificar su EEG a un patrón más normal y a partir de lo cual se espera una disminución de la sintomatología asociada, en el siguiente capítulo se describe más ampliamente el uso de esta técnica.

3.1 Actividad eléctrica cerebral y cognición

El electroencefalograma o EEG, refleja la actividad eléctrica del cerebro. Dicha actividad representa la actividad sumada de muchas neuronas (Misulis & Head, 2003). A partir de su descubrimiento en 1920 por Hans Berger, psiquiatra alemán quien descubrió los ritmos alfa y beta, (Thompson & Thompson, 2003), diversos estudios y autores han demostrado que el EEG cambia de acuerdo al estado funcional, el nivel de alerta y la actividad del sujeto. Dichos cambios se reflejan en la potencia y relación funcional de los distintos ritmos en los que se subdivide el EEG (Basar & Bullock, 1992).

El registro de la actividad cerebral ha sido ampliamente utilizado en lo que a evaluación neurológica y neuropsicológica concierne, con aplicaciones en la evaluación de trauma craneal (Hughes, 1994; Misulis & Head, 2003; Thatcher *et al.*, 2001; Thatcher *et al.*, 1989), evaluación y tratamiento de trastornos como lo es el Trastorno por Déficit de Atención (Chabot *et al.*, 2001; A. Clarke *et al.*, 2002; A. R. Clarke *et al.*, 2001b; Hermes *et al.*, 2005; Monastra *et al.*, 2001; Monastra *et al.*, 1999), esquizofrenia (Cornblatt & Keilp, 1994), epilepsia (Halford, 2003), aplicaciones con fines dentro de procesos legales en la evaluación de disfunciones neurológicas y psiquiátricas (Thatcher *et al.*, 2003).

El EEG ha sido asociado a una gran cantidad de procesos psicológicos como son los procesos de atención y vigilancia (Arruda *et al.*, 1999; Bearden *et al.*, 2004; Hermes *et al.*, 2005; Klimesch *et al.*, 1998; Kubota *et al.*, 2001; Smit *et al.*, 2004a; Valentino *et al.*, 1993; West & Bell, 1997) y la memoria de trabajo (Rizzuto *et al.*, 2003; Meltzer *et al.*, 2007). Thatcher y Biver (2005), encontraron correlaciones significativas entre

características del EEG en reposo y el puntaje de los sujetos en escalas de inteligencias, también se han observado cambios en el EEG en respuesta a música y emociones (Petsche & Rappelsberger, 1992; Ramos & Corsi-Cabrera, 1989), la respuesta emocional en hijos de madres depresivas (Dawson *et al.*, 1997), ejecución sexual (Guevara & Hernández, 2006), incluso, se han observado cambios en el EEG asociados a dolor neurogénico (Sarnthein *et al.*, 2006). Por lo anterior el análisis de las señales bioeléctricas cerebrales puede considerarse como una herramienta útil para identificar cambios neurológicos asociados a estados o respuestas particulares en cuanto a comportamiento, estado de respuesta y procesamiento de información.

Para su análisis y debido a sus características funcionales el EEG ha sido dividido en una variedad de ritmos, los cuales son descritos en términos de su frecuencia aunque existen diferencias entre autores en el corte de banda para cada ritmo, aunque otros elementos como su morfología, distribución y el estado del sujeto (i.e. sueño, vigilia) son tomados en cuenta al momento de su clasificación (Hughes, 1994).

El EEG está compuesto por varias frecuencias de manera simultánea, la frecuencia dominante es llamada ritmo de fondo, el ritmo de fondo puede ser considerado como un indicador general de la excitabilidad del sistema nervioso central (Hughes, 1994),

Los rangos más comunes en los que se clasifican las ondas del EEG son:

- Delta: 0.5 - 3.5 Hz
- Theta: 4 – 7 Hz
- Alfa1: 7.5 – 10 Hz
- Alfa 2: 11 – 13 Hz
- Beta1: 13 -- 18 Hz

- Beta 2: 19 – 25 Hz
- Gamma: > 35 Hz

El EEG es afectado por los ritmos circadianos incrementando su amplitud a lo largo del día aunque la variación en cada banda es distinta (Higuchi *et al.*, 2001), por lo que el ritmo de fondo puede variar de acuerdo al momento del día.

Un factor de gran importancia al observar esta frecuencia dominante es a la edad del individuo ya que el ritmo de fondo varía de acuerdo a esta, de manera general se considera que, en reposo con ojos abiertos la actividad de fondo predominante, en función de la edad es la siguiente (Hughes, 1994; Misulis & Head, 2003):

- En niños pequeños <6 años: Delta
- En niños y preadolescentes: Theta
- En adolescentes y adultos: Alfa

3.1.1 Ritmo delta

El ritmo delta comprende un heterogéneo grupo de ritmos con distintos mecanismos y funciones. De manera general se han identificado dos orígenes de la actividad delta: a) el ritmo delta generado en la corteza cerebral y b) el ritmo delta originado en el tálamo (Steriade, 1992).

El delta originado en el Tálamo aparece de manera moderada durante la fase II de sueño (- del 20%), y de manera más marcada (>50%) en las fases III y IV (Corsí, 1983). Al presentarse durante la vigilia en adultos puede ser un indicador de daño cerebral y/o de un foco epiléptico (Hughes, 1984; Misulis & Head, 2003).

El ritmo delta cortical aparentemente es originado en el córtex en la capa V y correlaciona con periodos de reducida actividad de las células piramidales. Se mantiene después de ablación del tálamo y ocurre por hiperpolarizaciones prolongadas; corresponde al ritmo delta que se observa cuando hay deaferentación cortical, como en el caso de masas expansivas intracraneales; el ritmo delta asociado a concentración mental también podría tener origen cortical (Steriade, 1992).

Por otra parte, se ha observado excesiva actividad delta en niños con dificultades de aprendizaje en regiones parietales principalmente en la región parietal del hemisferio izquierdo, tanto en condiciones de reposo con ojos abiertos como durante la ejecución de operaciones matemáticas (John, 1977).

De manera funcional las oscilaciones en esta banda asociadas principalmente con procesamiento cognitivo, ante tareas que requieren respuestas a estímulos visuales se producen sus más altas amplitudes de respuesta en la región parietal, mientras que para el caso de estímulos auditivos la mayor amplitud de delta es observada en las regiones frontales y centrales. Se considera que este tipo de actividad está relacionada a la detección de señales y toma de decisiones (Basar *et al.*, 2001).

3.1.2 Ritmo theta

Aparentemente las funciones asociadas con el ritmo theta son diversas y dependen del contexto, tarea y región cerebral en la que se presenten. De acuerdo con Steriade (2003) existen dos generadores distintos del ritmo theta: uno límbico, originado en el septum, y otro generado por una hiperpolarización de las neuronas talámicas. La estimulación bimodal sensorial induce un fuerte incremento en la respuesta de theta en la región frontal.

De manera general los estudios existentes muestran tres líneas funcionales distintas para este ritmo, una relacionada con respuestas emocionales, otra asociada a un estado atencional interno y relajación, y una tercera en la cual se asocia de manera negativa al estado de vigilancia y atención.

El ritmo theta asociado a emociones parece estar en función a la actividad septo-hipocámpica (Steriade, 1992), los estudios relacionados a la actividad sexual tanto en humanos como animales muestran fuerte actividad en esta banda (Guevara y Hernández, 2006). Actividad theta también ha sido reportada en función a la apreciación auditiva; un estudio realizado por Ramos y Corsi-Cabrera (1989), compararon sujetos amantes de la música clásica en tres condiciones distintas: en silencio, escuchando música clásica y escuchando el llanto de un bebé, reportaron un incremento general en la potencia relativa de theta en los sujetos mientras escuchaban música clásica, y un decremento al escuchar el llanto del bebé en comparación a las otras condiciones experimentales, lo cual se relaciono con los reportes de los sujetos hacia la música clásica como placentera y en el caso del llanto del bebé como una estimulación displacentera.

El theta asociado con atención interna y relajación ha sido observado en la línea media frontal, dada su localización parece ser un reflejo de la actividad en corteza de cíngulo (Kubota *et al.*, 2001), este ritmo ha sido asociado con atención selectiva sostenida (Asada *et al.*, 1999; Kubota *et al.*, 2001; Nakashima & Sato, 1992). Sin embargo, las tareas que se han empleado consisten en generar un foco atencional interno (i.e. poner atención a la respiración propia con un ritmo lento, restar de 7 en 7 a partir de 100 ó estados de meditación), o tareas que requieren la utilización de imaginación para su resolución (i.e. contar cubos apilados). Por otra parte, eventos complejos incrementan el procesamiento

frontal en este rango (Basar *et al.*, 2001), esto sugiere que el ritmo theta se genera en situaciones de atención no selectiva, es decir atención múltiple.

Por otra parte, esta respuesta en la banda de theta relacionada a la atención, parece observarse cuando el sujeto se encuentra relajado y con un estado emocional de tranquilidad (Kubota *et al.*, 2001), por lo que esta respuesta en theta indica un foco atencional interno sostenido y un estado de tranquilidad diferente a un estado con un foco atencional externo y un estado de alerta elevado como el que se presenta en tareas como la CPT.

En relación al estado de vigilancia y atención, theta ha sido asociado de manera inversa. Esta correlación negativa la encontramos en diversos estudios como por ejemplo Matousek y Petersen (1982), quienes señalan que las ondas lentas (theta y delta) se relacionan con el estado de vigilancia, aumentando éstas (theta y delta) de amplitud conforme el sujeto va pasando de fase 0 (vigilia) de sueño a fase 1. Por otra parte, se ha reportado una correlación positiva entre el incremento en theta en regiones centro frontales y el aumento entre el número de errores y el tiempo de reacción en tareas que requieren esfuerzo mental y vigilancia (Smit *et al.*, 2004).

Valentino *et al.* (1993) realizaron un estudio aplicando una CPT a fin de medir el nivel de vigilancia. Encontraron que aquellos sujetos con ejecución pobre en la CPT, al cual consideró como su grupo de baja vigilancia, observaron mayor potencia en alfa y theta en las regiones temporal y temporo-occipital en todas las condiciones, a lo cual el autor sugiere que theta es un predictor, junto con alfa, de las diferencias entre sujetos respecto a la susceptibilidad a decrementos en la vigilancia, aunque no respecto a los niveles iniciales de desempeño. En concordancia con lo anterior, Smit *et al.* (2004) encontraron que después de un periodo de esfuerzo mental la actividad theta en la línea media (Fz, Cz, Pz y O1) se

observa incrementada de manera correlacionada con el decremento en el desempeño en tareas que requieren atención y vigilancia sostenidas (SART: Tarea de respuesta de atención sostenida y prueba de RELOJ), indicando un decremento en el estado de vigilancia.

Otro estudio que muestra la relación entre atención y actividad theta lo encontramos en Hermes *et al.*, (2005), quienes estudiaron el EEG en reposo de sujetos con y sin TDA de entre 6 y 17 años de edad. Encontraron correlaciones negativas significativas entre la potencia absoluta de theta, principalmente en la región frontal izquierda y el número de errores en una tarea de detección de estímulos (oddball) para los sujetos con TDA, mientras que para los sujetos sin TDA se observó una correlación positiva entre la potencia de theta, principalmente en la región posterior derecha y el tiempo de reacción al ejecutar una CPT. Por otra parte, se observaron diferencias entre ambos grupos mostrando el grupo de TDA mayor actividad theta en la región centro-frontal, menores puntajes y mayor tiempo de reacción tanto en la ejecución de la CPT como en la tarea de detección de estímulos (oddball).

Beatty, Greenberg, Deibler y O'Hanlon (1974), entrenaron a estudiantes a regular frecuencias entre los 3 y los 7 Hz en las regiones occipital y parietal izquierdas, en su estudio utilizaron tres grupos: al primero lo entrenaron a disminuir la amplitud en este rango de frecuencias, al segundo a incrementarlo y un tercer grupo control sin entrenamiento. Los resultados mostraron que aquellos participantes entrenados a decrementar la amplitud en dicha frecuencias tuvieron un mejor desempeño en una tarea de detección de estímulos en un simulador de radar. Por otra parte, el grupo de participantes entrenados en incrementar dicha amplitud tuvieron peor desempeño, incluso que el grupo

control; dichos resultados parecen indicar una relación inversa del ritmo theta con el nivel de vigilancia o la atención sostenida de los sujetos (citado en Andreassi, 2000).

Distintos autores vinculados a la neuroretroalimentación, la actividad theta (4-8 y/o 4-7 Hz), en las zonas centrofrontales ha sido considerada como un indicador de un estado inatentivo en el sujeto, hipoactivación, dialogo interno y/o evocación de recuerdos (Demos, 2005; Evans & Abarbanel, 1999; Lévesque *et al.*, 2006; Schwartz & Andrasik, 2003; M. Thompson & Thompson, 2003). Como ya se mencionó este ritmo observado de manera abundante en las zonas centro – frontales ha sido sugerido como un fuerte indicador del Trastorno por Déficit de atención TDA (Monastra *et al.*, 2001; Monastra *et al.*, 1999), también ha sido considerado como reflejo de un estado de atención interna, hipersugestibilidad y relajación profunda (Trudeau, 2000).

Datos experimentales concernientes a las oscilaciones relacionadas a eventos en la banda de theta revelan un incremento durante el procesamiento cognitivo que se ha interpretado como una facilitación en la interacción córtico hipocampal. Los eventos relacionados a las oscilaciones theta pueden ser considerados como una respuesta coordinada que indica un estado de alerta, activación o estar listo para procesar (Basar *et al.*, 2001).

3.1.3 Ritmo alfa

Estas ondas tienen una forma regular y sinusoidal. Su origen parece ubicarse en el tálamo (Basar & Bullock, 1992; Fernández & Garrido, 2001; Thompson & Thompson, 2003), aunque Fernández y Garrido (2001), sugieren que el origen de este ritmo se genera en epicentros, en dipolos a nivel de las capas IV y V, en neuronas piramidales y el tálamo

influye en la coherencia corticocortical de alfa el núcleo Pulvinar parece tener la mayor influencia sobre la coherencia del ritmo alfa en la corteza cerebral (Steriade, 1992).

La actividad alfa muestra una distribución anteroposterior de modo que presenta su mayor amplitud en las regiones parietales y occipitales, responde al abrir o cerrar de ojos, aumentando en el último caso (Hughes, 1994).

El ritmo alfa ha sido considerado como uno de los indicadores del nivel de actividad del sujeto mostrando su incremento en relación negativa con éste. Existe una aparente disminución del ritmo alfa durante la actividad cognitiva como por ejemplo durante la realización de operaciones matemáticas (Fernández & Garrido, 2001). Varios estudios sustentan el papel del ritmo alfa en el procesamiento de información, correlacionándose este ritmo de manera negativa con el nivel de activación de un área en particular. Por ejemplo, Roberts y Kraft (1989), encontraron en niños de 10 a 12 años, una asociación entre una menor actividad relativa de alfa en ambos hemisferios (montajes P3 y P4 con referencia en Cz) y mayores puntajes en la lectura de comprensión. Sin embargo, también reportan que en algunos sujetos se ha reportado que la presentación de estímulos visuales y auditivos elicitan respuestas alfa, por lo que se le ha asociado con funciones sensoriales.

La actividad alfa se divide en alfa 1 (7.5 – 10 Hz aprox.) y alfa 2 (10.5-13 Hz aprox). Jausovec y Jausovec (2000), estudiaron las diferencias en el procesamiento cognitivo relacionado con la complejidad de los problemas y como esto se refleja en la actividad EEG. Encontraron que existen diferencias en relación a cada banda; mientras que alfa 1 está principalmente relacionada con procesos de atención, alfa 2 se encuentra asociada con procesamiento semántico de memoria. Un incremento en la coherencia hemisférica en alfa 2 se observó durante la ejecución de problemas que requirieron los mayores niveles de creatividad. La coherencia inter e intra hemisférica en ambas bandas de

alfa está principalmente relacionada con el nivel de creatividad necesario para resolver problemas. Estos autores indican que mientras las medidas de potencia están relacionadas con las características superficiales del problema, como son la forma de su presentación, las medidas de coherencia son más específicas al tipo de tarea.

Por otra parte, el ritmo alfa disminuye en tareas que requieren un incremento en el nivel de vigilancia y atención sostenida como durante la ejecución de la CPT. En un estudio, Valentino *et al.*, (1993) encontraron durante la aplicación de una CPTxx auditiva la disminución de este ritmo en las regiones temporales y frontotemporales en los sujetos con mayor nivel de decaimiento en la respuesta durante la prueba, mientras que en los sujetos cuyo desempeño se mantuvo a lo largo de toda la prueba la disminución significativa de este ritmo se observó en las regiones frontales, frontotemporales y temporales. En un estudio realizado por Valentino y Dufresne (1991) encontraron que durante la aplicación de distintas tareas de atención realizadas con ojos cerrados se presentó menor potencia absoluta en el hemisferio izquierdo que en el derecho principalmente en la región temporal en contraste a la condición de reposo.

El alfa relacionado a eventos parece facilitar los mecanismos de asociación, ya que una entrada sensorial o cognitiva inicia una secuencia de 10 Hz en varias estructuras cerebrales (Basar & Bullock, 1992). Por otra parte, las oscilaciones alfa han sido asociadas a diversas respuestas. La oscilación alfa está relacionada con movimiento (Basar & Bullock, 1992). También se le ha relacionado con la memoria de trabajo y probablemente con la memoria a largo plazo.

3.1.4 Ritmo beta

Se refiere a las ondas que se presentan por arriba de los 13 Hz, con excepción del ritmo sensoriomotor. Las ondas tipo beta son producidas en el tallo cerebral y la corteza. Es un ritmo rápido, asíncrono y usualmente de baja amplitud. En la corteza cerebral estas ondas representan actividad local. Muestra su máxima amplitud en las regiones frontocentrales (Thompson & Thompson, 2003).

Corresponde a un estado de alerta, el aumento en cuanto a distribución y amplitud de beta se ha asociado al estado de alerta del sujeto, atención externa, atención selectiva y/o trabajo cognitivo, de tal manera que el estado de vigilancia o nivel de alerta se caracteriza no sólo por un decremento en los ritmos lentos de fondo sino por el aumento en la actividad beta, caracterizando este estado un incremento en la amplitud de dicho ritmo (Matousek & Petersen, 1982; Steriade *et al.*, 1992).

Con relación a las emociones, incrementos en la potencia relativa de la actividad beta han sido observados durante estimulación displacentera (escuchar el llanto de un bebé) (Ramos & Corsi-Cabrera, 1989).

Como ya se mencionó con anterioridad, una disminución de esta banda suele observarse en sujetos con TDA en comparación a sujetos normales y parece reflejar el estado de activación cortical y responsabilidad del sujeto al mundo externo. Ackerman & Dykman, 1993 (en Ackerman *et al.*, 1998) realizaron un estudio en el cual compararon niños con TDA y niños con problemas de lectura; a pesar de que en los reportes conductuales de atención ambos grupos fueron iguales, mostraron diferencias significativas en la actividad eléctrica cerebral, mostrando menores valores para la banda de beta los niños con problemas de lectura. En el análisis de correlación, encontraron en estos sujetos como factor predictor de la capacidad para leer y deletrear la potencia en theta y beta, indicando

que a mayor potencia en beta y menor potencia en theta, mayor habilidad lectora y de deletreo.

En otro estudio (Ackerman *et al.*, 1998) se analizó el espectro de potencias durante la lectura en dos grupos de sujetos adolescentes con problemas de lectura (fonéticos y disfonéticos), observándose lo siguiente: el grupo fonético mostró mayor potencia par la banda de alfa (8-13 Hz) en las regiones frontal, parietal y occipital de hemisferio derecho, para el caso del grupo disfonético ellos mostraron mayor potencia absoluta en la banda de beta (14-22 Hz) en ambos hemisferios aunque la diferencia mayor fue en el hemisferio izquierdo. Además, el grupo disfonético mostró valores similares en ambos hemisferios en esta banda mientras que grupo fonético mostró mayor potencia en el hemisferio derecho, esto sugiere que para el grupo disfonético fue requerido mayor esfuerzo en el procesamiento de la información.

Por otra parte, frecuencias rápidas en esta banda (23-30 Hz en Cz y Pz) se asocian con fatiga. En un estudio (Smit *et al.*, 2004b) se observó un incremento en la actividad beta2 asociado a esfuerzo mental en una tarea de atención sostenida aplicada después de un periodo de esfuerzo mental en los sujetos, observándose correlación positiva entre el incremento en dicha banda y el número de errores en la tarea.

El ritmo beta, en asociación inversa con el ritmo theta, fue reportado por Valentino *et al* (1993), como un indicador del estado de vigilancia de los sujetos. En su estudio encontraron que aquellos sujetos que presentaron mayor cantidad de beta en las regiones anteriores y menor cantidad de actividad theta en regiones posteriores tuvieron un mejor desempeño durante la ejecución de una tarea CPT. Dichas características electrofisiológicas se observaron durante la condición de reposo y se acentuaron más durante la ejecución de la CPT; en dicho estudio el autor separó a su muestra de acuerdo a su ejecución en un grupo

de baja vigilancia y un grupo de alta vigilancia, el grupo de alta vigilancia mostró una mayor gradiente antero posterior para la banda de beta, en todas las condiciones lo cual indica la importancia de esta banda para la atención sostenida en las regiones frontales. Además el mayor indicador de decremento en el desempeño de la ejecución de la prueba fue la disminución de la potencia de la banda de beta2 (17.5 – 25 Hz) en la región temporal, esto puede ser debido a que la prueba requirió principalmente procesamiento auditivo.

Otro estudio en la misma línea (Arruda *et al.*, 1999), mostró un incremento significativo en la actividad beta 1 (12.6-17.5 Hz) y beta 2 (17.6-25.0 Hz) en la región temporal derecha durante la ejecución de una CPT auditiva respecto a la condición de reposo, y un decaimiento progresivo de estas mismas bandas asociado a la caída en el porcentaje de respuestas correctas e incremento en el tiempo de reacción.

Diversos autores (Demos, 2005; Evans & Abarbanel, 1999; Thompson & Thompson, 2003), vinculados con la neuroretroalimentación relacionan la actividad beta en los rangos de 15-18 Hz (en niños y adolescentes) y 16-20 Hz (en adolescentes y adultos), con un estado de alerta y atención selectiva, resolución de problemas matemáticos y procesamiento de información (i.e. lectura, atender una clase o explicación). En un estudio realizado por Egnér y Gruzelier (2004), entrenaron a dos grupos de sujetos sanos a producir distintos componentes de beta1 (cada grupo fue asignado a un componente distinto): 12-15 Hz (SMR) y 15-18 Hz, reportando reducción de errores de omisión en el grupo entrenado en el rango de 12-15 Hz, así como disminución en la variabilidad del tiempo de reacción, por otra parte, el grupo entrenado en incrementar el rango de 15-18 Hz mostró un decremento significativo en los tiempos de reacción, lo cual parece indicar el estado de respuesta que los distintos componentes de la banda de beta1 reflejan.

3.1.5 Ritmo gamma

Este ritmo rápido, por arriba de los 35 Hz (en humanos principalmente entre los 35 y 45 Hz), de origen cortical (Steriade, 1992), respuestas de 40 Hz han sido reportadas en humanos especialmente en las áreas centrales y frontales (Titinen *et al.*, 1993, en Basar *et al.*, 2001). Basar *et al.*, (2001) sugiere que las oscilaciones gamma posiblemente representan un código universal de comunicación del sistema nervioso central.

Las respuestas a estímulos auditivos y visuales de gamma están selectivamente distribuidas en estructuras corticales y sub-corticales distintas. Una respuesta de 40 Hz a los 100 ms después de la estimulación tiene un origen sensorial, siendo esto independiente de las tareas cognitivas; esta onda ha sido encontrada en distintas estructuras corticales, tales como la corteza visual ante estimulación sensorial, así como en el hipocampo, formación reticular y corteza ante la omisión de un estímulo auditivo (Basar *et al.*, 2001). Otros autores (Fernández & Garrido, 2001) indican que este ritmo parece estar asociado con la interacción neuronal dirigida a la programación motora.

El incremento en la coherencia entre distintas zonas en frecuencias rápidas ha sido considerado como un indicador del proceso cooperativo de nodos en la red neural, Babiloni *et al.* (2004) realizaron un estudio relacionado a memoria a corto plazo utilizando una tarea que requería que los sujetos memorizaran la ubicación de dos barras (una más larga que la otra) en la pantalla por un periodo de 3.5 a 5.5 segundos, pasando este tiempo debían indicar la ubicación de la barra más larga, encontraron un incremento en la coherencia en las frecuencias de 30 a 45 Hz entre las regiones frontoparietales (F3-P3 y F4-P4) ante dicha tarea.

En registros de EEG espontáneo aumentos en la amplitud de este ritmo en regiones centrofrontales han sido asociados con niveles altos de concentración en humanos al

prepararse para la ejecución de una tarea compleja (Sherr, 1984; citado en Thomson y Thompson, 2003). Por otra parte se ha registrado un aumento en este ritmo en corteza occipital en humanos cuando estos prestaban atención a un estímulo visual (Wróbel, 2000).

En un artículo de revisión Wróbel (2000) hace ver la asociación del ritmo Gamma con atención, ya que al registrar gatos durante tareas que requieren atención visual se han observado incrementos en la actividad beta (16-24 Hz) correlacionados con actividad Gamma (30-45 Hz) al registrar el núcleo geniculado lateral y la corteza visual (Bequisz & Wróbel, 1999). Correlaciones similares en fase entre las bandas de beta y gamma han sido observadas durante la estimulación visual en monos (Schanze & Eckorn, 1997).

3.2 El EEG un reflejo de la actividad del cerebro

No es posible asignar una sola función a un tipo dado de actividad oscilatoria. Las oscilaciones comprenden múltiples funciones y actúan como operadores universales o códigos en la actividad funcional cerebral ya que las funciones cerebrales complejas e integrativas se manifiestan en la sobre imposición de varias oscilaciones. *“Las oscilaciones en el cerebro están correlacionadas con múltiples funciones dependiendo de la tarea, sensación y estructura”* (Basar *et al.*, 2001).

A pesar de las grandes diferencias individuales del EEG y las aptitudes personales, los mapas probabilísticos de los cambios promedio en la potencia y coherencia, indican algunas estrategias fundamentales de pensamiento que se hacen evidentes en el EEG (Petsche & Rappelsberger, 1992). Los cambios son complejos y diversificados ya que por

ejemplo hay observaciones frecuentes de cambios contralaterales entre las bandas theta y alfa en contraste a la banda de beta.

Basar *et al.* (2001) realizaron una revisión de distintos trabajos que muestran que las oscilaciones en el EEG en las bandas de alfa, theta, delta y gamma están fuertemente relacionadas con funciones sensoriales y cognitivas. Así, un estímulo complejo suscita respuestas sobrepuestas de manera combinada (alfa, gamma, theta).

Aparentemente las oscilaciones en el EEG indican cambios en la actividad en relación a una respuesta funcional, ya que las áreas del cerebro relacionadas con el procesamiento de la información sensorial, planeación, o ejecución del movimiento o el habla, muestran una desincronización o bloqueo de los ritmos alfa y/o beta. Por lo tanto se asume que la desincronización es signo de excitación de una masa neural o activación de áreas corticales.

Petsche y Rappelsberger (1992) realizaron un experimento con 75 estudiantes de ambos sexos, sin importar sus preferencias musicales se les presentó durante un minuto un fragmento de una obra de Mozart. Los mapas probabilísticos del EEG mostraron en relación al EEG en reposo, una notable reducción de la potencia en alfa en la región temporal izquierda y en una región menor en el hemisferio derecho, así como un incremento de la coherencia en la zona frontotemporal izquierda en la banda de theta, y en el área temporo-occipital derecha en el rango entre 18 y 24 Hz. Cuando los grupos de personas fueron separados en cuanto al sexo se observaron algunas diferencias, mostrando mayores cambios las mujeres que los hombres al escuchar música; demostrando que cambios locales en la potencia de las bandas de beta, parecen estar relacionadas a características especiales de atención. "...el desarrollo de procesos cooperativos reflejados

en el EEG ha probado tener algunos significados funcionales en la competencia entre procesos excitatorios e inhibitorios” (Petsche & Rappelsberger, 1992).

Áreas corticales no activadas, o no directamente implicadas en el desempeño de una tarea, como en el caso de la corteza motora durante la lectura o la corteza visual durante el movimiento, pueden mostrar sincronización o incremento del ritmo alfa. La sincronización de ondas alfa pueden ser características de una inhibición de una masa neural o un área cortical en un estado de descanso (Pfurtscheller & Klimesch, 1992).

Por otra parte West y Bell, (1997), indican que el EEG no es la técnica indicada para la localización funcional neuroanatómica y que la información que provee indica el estado general del procesamiento de información a nivel neural y no su localización específica en la corteza.

3.3 Aprendizaje y EEG

Se ha observado que cuando los sujetos son entrenados en una habilidad requieren menos recursos neuronales para ejecutarla o para dar la respuesta una vez que han adquirido experiencia. Spierer *et al.*, (2007) entrenaron a sujetos a discriminar la localización espacial de sonidos y encontraron que el incremento en la actividad eléctrica cerebral al estímulo blanco fue menor en el registro post entrenamiento en la corteza parietal inferior izquierda, mostrando una menor representación cortical correspondiente al estímulo blanco, los autores argumentan que este cambio está asociado a una mayor selectividad neuronal.

Por otra parte, se ha observado durante la adquisición de un aprendizaje nuevo cooperación de distintas zonas cerebrales dependiendo de las modalidades de estímulo de

las que depende la respuesta, así como de las áreas motoras participantes (Blum *et al.*, 2007).

En un trabajo realizado por Amescua (2006), en el cual se registró el EEG de niños mientras realizaban tareas viso espaciales antes y después de un entrenamiento en esta modalidad, se observó que en la evaluación posterior al entrenamiento los sujetos presentaron menor actividad beta2 (19-25 Hz) en las áreas temporales, parietales y occipitales derechas, así como en áreas frontales. También se observa una mayor correlación interhemisférica para la banda de alfa2 (10-12 Hz), lo que es interpretado por la autora como menor esfuerzo para realizar la tarea y un procesamiento cerebral más eficiente dado que los sujetos tuvieron mejoras significativas en el desempeño post tratamiento.

Gerolff y Andres (2002), observaron incrementos en la coherencia interhemisférica entre áreas motoras durante, los primeros estadios en del aprendizaje de una serie de movimientos bimanuales, mientras que en estadios más tardíos dicha coherencia disminuyó lo que sugiere mayor independencia de las áreas corticales requeridas para la realización de la respuesta (en Blum *et al.*, 2007).

Ghez y Krakauer (2000), encontraron disminución espacial de la actividad cortical participante de la ejecución motora conforme el sujeto aprende a ejecutar una tarea y la practica (secuencias de movimientos con los dedos de la mano), lo que parece ser un mecanismo de optimización de recursos seleccionando circuitos mínimos necesarios para conseguir un tipo de conducta.

3.4 Neuroretroalimentación

La investigación en este campo hasta ahora se ha orientado en la conceptualización de la neuroretroalimentación como un procedimiento que debe ser utilizado para estimular y/o regular la actividad cerebral, a partir de lo cual se puede influenciar el procesamiento cognitivo. Sin embargo no está claro hasta que punto entrenar individuos a incrementar una frecuencia particular e inhibir otra tendrá una influencia específica en el procesamiento cognitivo (Vernon *et al.*, 2002).

Por otra parte, la neuroretroalimentación es ampliamente utilizada para el tratamiento de sujetos con TDA. En una revisión, realizada a 16 estudios que aplicaron distintos protocolos de neuroretroalimentación, para el tratamiento del déficit de atención, problemas de aprendizaje e hipercinesia, se encontró que en 15 de los 16 estudios se observaron resultados positivos en cuanto a disminución de síntomas y mejoras en el desempeño tales como incremento en cociente intelectual (CI) respecto al grupo control. Por otra parte, el único estudio que no encontró ningún efecto utilizó un protocolo para aumentar la actividad alfa. El autor de la revisión lo atribuye estos resultados al tipo de banda utilizada en la retroalimentación, ya que alfa incluso disminuye ante tareas que requieren atención sostenida (Wear, 1997).

Linden *et al.* (1996), realizaron un estudio en niños con TDA y problemas de aprendizaje utilizando un protocolo para incrementar una parte de la banda de beta (16-20 Hz) y disminuir theta de 4-8 Hz, en un montaje bipolar Cz – Pz, durante 40 sesiones. Encontraron mejoras en inteligencia con un aumento de 9 puntos en CI respecto al grupo control, así como mejoras en escalas parentales de comportamiento contestadas por los padres 6 meses después del tratamiento. Por otra parte, no encontraron cambios post-

tratamiento significativos en el comportamiento agresivo/desafiante. Sin embargo, dadas las características del equipo utilizado no les fue posible reportar cambios en el EEG.

Rasey *et al.* (1996), entrenaron a sujetos normales durante 20 sesiones a incrementar la actividad en el rango de 16-22 Hz y disminuir la actividad en el rango de 6-10 Hz, utilizando un montaje bipolar Fcz-Cpz (Fcz se encuentra ubicado entre Cz y Fz, y Cpz entre Cz y Pz) ya que este montaje suele mostrar la proporción theta/beta más elevada (en comparación con otras conexiones bipolares). Aquellos sujetos que fueron capaces de cambiar su patrón de EEG mostraron diferencias significativas en la atención evaluada mediante la prueba Intermedio Visual y Auditivo (IVA) entre las evaluaciones realizadas antes y después del tratamiento, en comparación a aquellos sujetos que no lograron modificar su EEG. Este trabajo cuenta con una muestra muy reducida ya que el experimento fue realizado únicamente con cuatro sujetos, de los cuales solamente dos sujetos lograron controlar el patrón de EEG. Los autores concluyen que posiblemente se requiere un mayor número de sesiones para desarrollar dicho aprendizaje.

Vernon *et al.* (2003) realizaron un estudio con sujetos normales utilizando un protocolo para incrementar SMR (12-15 Hz) y disminuir theta (4-8 Hz) utilizando una derivación monopolar en Cz referida a A2, encontrando cambios en las proporciones SMR/theta y SMR/beta. Por otra parte, utilizaron una tarea CPT para evaluar atención y dos tareas para evaluar memoria semántica de trabajo. Los autores encontraron mejoras significativas post tratamiento respecto al grupo control en cuanto al número de aciertos, disminución de errores por omisión y mejoras en el desempeño de la memoria semántica de trabajo, atribuyendo esto último a una mejora en el procesamiento atencional. Utilizaron también un protocolo alterno para incrementar theta de 4-7 Hz, sin encontrar diferencias significativas respecto al grupo control.

Fernández *et al.*, (2003), utilizando un protocolo de retroalimentación para disminuir la proporción theta/alfa en la condición de ojos cerrados, en niños con problemas de aprendizaje, encontraron diferencias significativas en cuanto a medidas atencionales obtenidas a partir del TOVA, también encontraron un incremento significativo en el CI en 3 de los 5 niños del grupo experimental. En este estudio vale la pena destacar algunos factores que lo diferencian de la mayoría de estudios realizados con esta técnica: 1) la retroalimentación fue realizada con ojos cerrados, 2) se utilizó un protocolo para disminuir la proporción theta/alfa, 3) el grupo control fue manejado bajo la condición placebo y la elección de la localización para el registro del EEG durante la retroalimentación fue a partir del lugar en donde la proporción theta/alfa fuese más elevada. De manera adicional reportan una disminución post tratamiento en la potencia absoluta en todas las bandas distribuida de manera heterogénea en la mayoría de las 19 localizaciones registradas del sistema 10/20 en 4 de los 5 sujetos del grupo experimental.

Otros trabajos han sido realizados utilizando directamente la potencia relativa de beta y SMR en relación al resto del espectro. Kropotov *et al.*, (2004), utilizando una muestra amplia de 86 niños con TDA, realizaron un montaje bipolar C3-Fz para reforzar beta y otro en C4-Pz para reforzar SMR. Encontraron mejoras significativas post tratamiento en el TOVA. Registraron 19 localizaciones del sistema 10/20 y encontraron en la última sesión de retroalimentación un aumento significativo en la actividad beta en la mayoría de los puntos registrados durante la neuroretroalimentación. En adición a esto el objetivo de este experimento fue observar cambios en cuanto a potenciales relacionados con eventos (PREs).

Los autores no encontraron diferencias en cuanto a los componentes N1 y P2 del potencial, sin embargo sí diferencias significativas en componentes tardíos, observando un

incremento en la amplitud de la P300 la cual ha sido asociada con procesos de atención y memoria.

Empleando la resonancia magnética funcional se han observado cambios post tratamiento al utilizar el tratamiento en neuroretroalimentación Lévesque *et al.*, (2006), utilizando un protocolo de 20 sesiones para incrementar SMR y reducir theta, y 20 sesiones para incrementar beta y reducir igualmente theta, ambos segmentos del protocolo con un montaje Cz-A2, encontraron un locus de activación significativo en el lóbulo parietal izquierdo, en la corteza anterior del cíngulo del hemisferio derecho, el núcleo caudado izquierdo y la sustancia nigra izquierda.

En un trabajo realizado por Egner y Gruzelier (2004), se estudiaron los efectos en sujetos sanos tanto de incrementar SMR como de beta (15-18 Hz) sobre la atención sostenida (CPT) y la P300 (PRE), encontrando que el entrenamiento en SMR reduce el número de errores por omisión y la variabilidad en el tiempo de reacción, mientras que el entrenamiento en el incremento en la amplitud de 15-18 Hz tiene efectos significativos en la reducción de los tiempos de reacción así como incremento en la amplitud de la P300. Los autores concluyen que el entrenamiento en SMR tiene un efecto sobre la atención mientras el entrenamiento en beta (15-18 Hz) produce un efecto sobre el nivel de activación o estado de alerta de los sujetos.

En otro trabajo realizado por el mismo autor (Egner & Gruzelier, 2001), entrenaron a sujetos sanos a incrementar la amplitud de SMR durante 15 minutos en C4-A2 durante 15 minutos y 15-18 Hz en C3-A1 el mismo tiempo en cada sesión y a decrementar theta (4-7 Hz) en ambos montajes. Estos autores encontraron al correlacionar el desempeño de los sujetos en cada uno de los protocolos, que el entrenamiento en el incremento de SMR correlacionó positivamente con la reducción en los errores de comisión en la aplicación de

una CPT Pre-Post tratamiento mientras que el desempeño en el entrenamiento en 15-18 Hz correlacionó negativamente con esta variable.

Tablas 3.1 a y 3.1 b: Características Principales de los artículos revisados:

Autor /Año	Protocolo	Sujetos	N	Pruebas conductuales Pre-Post tratamiento	Pruebas fisiológicas Pre-Post tratamiento	Resultados Post tratamiento
Lévesque <i>et al</i> , 2006.	20 sesiones, 4-7/SMR y 20 Sesiones 4-7/15-18 - (Cz-A1)	Niños con TDA, ambos sexos	15 Experimentales 5 Controles	Stroop (de conteo) CPT (IVA) CONNERS WISC-R	fMRI (durante Stroop)	Mejoras significativas en desempeño de Stroop, IVA, detección de dígitos, e hiperactividad (CONNERS). Incremento local de actividad en Cíngulo Anterior
Kropotov <i>et al</i> , 2004	3-5 sesiones, 8-12 Hz (Oz-Fz 10 min). 15-22 sesiones, 15-18 Hz Potencia relativa (C3-Fz 20 min). 12-15 Hz potencia relativa (C4- 10 min).	Niños con TDA 9-14 años Ambos sexos (principalmente niños – 77)	86 experimentales aquellos sujetos con un desempeño pobre durante la NR (aprox. 20%) fungieron como controles.	SNAP-4 (reportes parentales) GO-NOGO de doble estímulo	ERP (durante GO-NOGO)	Mejora significativa en reportes parentales y ejecución de la prueba GO-NOGO. Incremento en la amplitud de la P300.
Egner & Gruzelier, 2004.	10 sesiones, Grupo SMR: 4-7/12-15 (C4-A2) Grupo BETA: 4-7/15-18 (C3-A1)	Estudiantes de licenciatura ambos sexos (21.7 años promedio)	8 Beta 9 SMR 8 Técnica Alexander (control)	Oddball auditivo CPT (TOVA)	ERP (en función a la prueba oddball)	SMR: reducción en errores de omisión en Oddball BETA: Decremento en tiempos de reacción e incremento en la amplitud de la P300 en CPT

Tabla 3.1 a

<i>Autor /Año</i>	Protocolo	Sujetos	N	Pruebas conductuales Pre-Post tratamiento	Pruebas fisiológicas Pre-Post tratamiento	Resultados Post tratamiento
<i>Vernon et al, 2002</i>	8 sesiones 4-7/SMR & incremento de theta (Cz-A1)	Sujetos sanos 20-28 años, ambos sexos	10 SMR 9 Theta 10 Control	CPT	EEG 1 derivación.	Mejora en desempeño de la CPT, incremento en la razón SMR/Theta
<i>Egner & Gruzelier, 2001.</i>	10 sesiones, 4-7/12-15 (15 min. C4-A2) y 4-7/15-18 (15 min. C3-A1)	Estudiantes de licenciatura ambos sexos (22.1 años promedio)	22 Experimentales	Oddball auditivo CPT (TOVA)	ERP (en función a la prueba oddball)	Mejora en errores de comisión en CPT Incremento en la amplitud de la P300
<i>Fernández, et al, 2003.</i>	20 sesiones, disminuir la razón 3.6-7.5/7.6-12.5 (zona de registro de acuerdo a evaluación previa).	Niños con TDA ambos sexos (7-11 años)	5 experimentales 5 Contrroles	CPT (TOVA) WISC-R	EEG (potencia relativa y absoluta, razón theta/alfa y análisis de actividad paroxística)	Mejora en parámetros de inatención (TOVA), incremento de IQ. No hubo cambios post tratamiento en el EEG hasta 2 meses después mostrando reducción en la potencia absoluta.
<i>Linden et al, 1996.</i>	40 sesiones 4-8/16-20 Hz (Cz-Pz)	Niños con TDA ambos sexos (algunos con problemas de aprendizaje)	9 Experimentales 9 Controles	Reportes parentales Test de inteligencia K-bit	Ninguna	Incremento en las medidas de inteligencia del K-bit.
<i>Rasey et al, 1996.</i>	20 sesiones 6-10 Hz/16-22 (FCz-CPz)	Estudiantes de licenciatura ambos sexos	7 Experimentales	WAIS-R, IVA	Ninguna	Incrementos superiores a una desviación estándar en el IVA.

Tabla 3.1 b

Capítulo 4: Trabajo experimental

4.1 Planteamiento del problema

La neuroretroalimentación consiste en el uso de instrumentación que permita a las personas monitorear su actividad eléctrica cerebral (EEG) con el fin de identificar relaciones entre ésta y su estado psicofisiológico, de modo que por medios operantes adquiera herramientas de autorregulación. Dicho entrenamiento ha sido principalmente utilizado en el tratamiento de distintos tipos de epilepsia y de pacientes con Trastorno por Déficit de Atención TDA (Monderer *et al.*, 2002), y en forma más reciente, en el desarrollo de sistemas que permitan a las personas con capacidades diferentes operar computadoras mediante la actividad eléctrica cerebral (Curran & Stokes, 2003).

La neuroretroalimentación parte del supuesto de que ciertas frecuencias del EEG corresponden a determinado estado psicológico (Thompson & Thompson, 2003), a partir de lo cual se pretende entrenar al individuo a modular su estado psicológico, utilizando el monitoreo de su EEG, considerando que el cambio en el EEG y el cambio en el estado psicológico están altamente ligados.

A pesar de que existen numerosos estudios que reportan efectos positivos al aplicar esta técnica en los problemas antes mencionados (Linden *et al.*, 1996; Lingenfelter, 2001; Monderer *et al.*, 2002; Wear, 1997; Xu *et al.*, 2002), diversos elementos de orden metodológico dificultan la interpretación de los resultados como por ejemplo: ausencia de grupo control (i.e. Rasey *et al.*, 1996, Kropotov *et al.*, 2004); la implementación de otros tipos de intervención terapéutica llevados de manera simultánea que no permiten establecer una relación causal directa a la NR (Wear, 1997); diferencias en los protocolos utilizados y variaciones en el número de sesiones entre participantes (tanto intra como inter sujeto) (i.e.

Kropotov *et al.*, 2004; Fernández, *et al.*, 2003), trabajo con sujetos con distintos subtipos de TDA y distintos patrones de comorbilidad (Linden *et al.*, 1996). Así mismo se encuentra una gran variabilidad en cuanto a las zonas cerebrales que se emplean para la retroalimentación (Rasey *et al.*, 1996).

La mayoría de estudios no analizan cambios en la actividad eléctrica cerebral. Aquellos que lo hacen, en su mayoría analizan los cambios en los PRE's (i.e. Egner & Gruzelier, 2004). Por otra parte, existen muy pocos estudios que analizan cambios en la potencia (relativa o absoluta) ya sea de las bandas utilizadas para la retroalimentación o de otras (i.e. Fernández, *et al.*, 2003), ó reportan los cambios en la potencia únicamente en la derivación utilizada para retroalimentar (Vernon *et al.*, 2003).

Por otra parte una de las preguntas principales acerca de la utilización de la neuroretroalimentación se refiere al tipo de actividad eléctrica cerebral que debe ser retroalimentada para producir mejorías en los procesos de atención. Se ha reportado que entrenar a sujetos a incrementar la actividad sensoriomotora (SMR 12-15 Hz) y simultáneamente, decrementar la actividad en el rango de theta (4-7 Hz) produce mejoras sustanciales en la atención sostenida, tanto en sujetos con trastorno por déficit de atención como en sujetos normales (Vernon *et al.*, 2003). Por otra parte, protocolos de entrenamiento que utilizan la banda de beta (16-20 Hz) en lugar de la de SMR, han sido utilizados tanto para el tratamiento de déficit de atención (Linden *et al.*, 1996), como en sujetos normales con efectos importantes en la atención (Rasey *et al.*, 1996).

Los estudios existentes indican un efecto diferencial sobre la atención en la retroalimentación de cada banda, por ejemplo, la retroalimentación para el incremento del SMR (13-15 Hz) ha sido asociada al decremento de errores de omisión en una prueba oddball, mientras que la retroalimentación del ritmo beta (15-18 Hz), se ha asociado al

decremento en el tiempo de reacción durante una prueba CPT (Egner & Gruzelier, 2004). Sin embargo en este estudio también difirió la región utilizada para la retroalimentación de cada banda (beta – C3 A1 y SMR – C4 A2), lo que dificulta la interpretación y atribución de los resultados ya que las diferencias entre los grupos – protocolo, pudieron deberse a la región utilizada para la NR y no al corte de banda como lo interpretan los autores. Esta cuestión permea las sugerencias clínicas en cuanto a protocolos ya que éstas se sustentan en estudios con características metodológicas que no permiten una clara atribución de los resultados.

Por otra parte, la mayoría de los estudios se han realizado en sujetos con Trastorno por Déficit de Atención, de modo que falta por determinar si estos cambios también se presenta en otro tipo de pacientes o en individuos sanos, ya que existen muy pocos trabajos realizados con estos últimos.

Una ventaja al trabajar con individuos sanos, es que permite establecer relaciones más claras entre las variables a evaluar, al evitar otros aspectos que pueden confundir la interpretación de los resultados, como por ejemplo, el uso de medicamentos, la presencia de otros trastornos, etc. Dado que existen antecedentes que indican efectos benéficos de la neuroretroalimentación sobre la atención en sujetos normales (i.e. Egner & Gruzelier, 2004), se considera que esta técnica opera de manera similar en ambas poblaciones.

A pesar de que los antecedentes indican que es posible entrenar a sujetos a modificar su estado psicológico a partir del monitoreo de la actividad eléctrica cerebral, y que estos cambios pueden producir mejorías en diversos procesos de atención, falta por determinar los componentes específicos de la atención que son facilitados por el

tratamiento en sujetos sanos bajo la implementación de un solo protocolo aislado, así los posibles cambios electrofisiológicos que pudieran presentarse.

4.2 Objetivos

Objetivo General

Observar los efectos de la neuroretroalimentación sobre la atención sostenida y enfocada/dividida, así como posibles cambios en la actividad eléctrica de diversas regiones cerebrales en sujetos sanos.

Objetivos específicos

- Analizar si la aplicación de un protocolo de neuroretroalimentación que implica el incremento en la banda de beta (13-18 Hz) y el decremento en la banda de theta (4-7 Hz) en a derivación Cz, produce cambios en la ejecución de tareas de atención sostenida y atención enfocada, a fin de determinar si ciertos procesos de la atención varían como consecuencia del tratamiento.
- Evaluar si la neuroretroalimentación produce cambios en la potencia relativa de theta y beta1 en la línea media del cráneo (Fz, Cz y Pz).
- Evaluar si dichos cambios son observados en una o varias de las siguientes condiciones: reposo con ojos abiertos (en vigilia) y durante la ejecución de las tareas de atención sostenida y enfocada.

- Evaluar si estos cambios son exclusivos de la NR de los parámetros seleccionados (theta/beta1), o si también se producen al retroalimentar el estado de relajación muscular.

4.3 Hipótesis

- Se observarán mejoras en la ejecución de la tarea de atención sostenida (CPT- AX) después del entrenamiento, reflejándose la mejora en la disminución en el número de errores por comisión e incremento en el número de aciertos, un menor nivel de decaimiento a lo largo de la prueba y mejora en los tiempos de reacción.
- Se espera disminución en los tiempos de ejecución de la prueba de Stroop (atención enfocada / dividida).
- Se espera que los sujetos entrenados con las técnicas de neuroretroalimentación presenten cambios en el espectro de potencia, disminuyendo la potencia relativa de theta y aumentando la potencia relativa en beta1.
- Dicho cambio se observará de manera más pronunciada durante la ejecución de las tareas que durante el reposo.
- Los cambios se observarán en más regiones que la utilizada en las sesiones de retroalimentación (Fz y Pz).
- Se espera que estos cambios sean progresivos a lo largo del tratamiento.
- El grupo que reciba la retroalimentación para control de actividad muscular no presentará cambios post tratamiento en la ejecución de las tareas, ni en las variables

electroencefalográficas registradas o éstos serán menores a los presentados por el grupo que recibirá la NR.

4.4 Método

Sujetos

En el estudio participaron 18 sujetos de sexo masculino con edades entre 18 y 32 años, diestros, con estudios mínimos de preparatoria. Los sujetos reportaron no haber tenido antecedentes de problemas psiquiátricos, ni familiares en primer grado que los hubiesen presentado.

Durante el registro de la actividad eléctrica cerebral no mostraron actividad paroxística.

Los sujetos reportaron no estar bajo tratamiento médico ni consumir drogas que afecten el sistema nervioso central, así mismo firmaron un formato de consentimiento informado.

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

No haber completado el número de sesiones de entrenamiento o las evaluaciones conductuales y no presentar pendiente positiva en los indicadores de aprendizaje durante el entrenamiento (número de reforzadores por sesión).

Los sujetos fueron divididos en dos grupos, uno de ellos recibió entrenamiento en neuroretroalimentación, mientras que el otro recibió biorretroalimentación para disminuir

la actividad eléctrica muscular, esto con el fin de poder determinar que los cambios asociados a la neuroretroalimentación no se debieron a las condiciones de estimulación.

Los protocolos que aplicamos fueron los siguientes:

Protocolo de Neuroretroalimentación

El procedimiento a seguir fue el siguiente: se colocó un electrodo en la zona Cz para registrar la actividad eléctrica cerebral. Como referencia se colocaron electrodos en las aurículas (A1 y A2) cortocircuitados y un electrodo de tierra en la región mastoides.

Los electrodos fueron conectados a un sistema de neuroretroalimentación Marca: Thought Technology Ltd, Modelo: Procomp Infiniti, con preamplificadores EEG-Z (SA9305Z). Se digitalizó la señal a una frecuencia de 256 Hz. Posteriormente, la señal se descompuso en 3 bandas, utilizando filtros digitales, con las siguientes frecuencias de corte: 1) 4-7 Hz, 2) 13-18 Hz y 3) 52-58 Hz. Para la captura de datos y la neuroretroalimentación se utilizó el software Biograph Infiniti 3.1.

La pantalla para neuroretroalimentación contó con tres barras: una que mostró la actividad en la banda theta (4-7 Hz), otra de la banda beta1 (13-18 Hz) y con el objetivo de que el cumplimiento de las condiciones de NR no fuese por manipulación muscular, se instaló en la pantalla una tercer barra mostrando la actividad de 52 a 58 Hz, la cual ha sido relacionada en este tipo de equipos de neuroretroalimentación con la actividad muscular (Thompson & Thompson, 2003), permitiendo a los sujetos estar al tanto de artefactos por contracción muscular. La altura de la barra indicó las variaciones en la amplitud promedio en el rango de frecuencias correspondiente. Además, el color de la barra cambiaba si la barra se mantenía dentro o fuera del rango de retroalimentación; se presentó en color verde

cuando las señales se mantuvieron dentro del rango predeterminado, de lo contrario dichas barras se presentaron en color rojo.

Además, cada vez que el sujeto mantenía su actividad dentro del rango indicado se presentó en la pantalla una animación en la cual se mostraba un foco eléctrico que se encendía progresivamente en la pantalla, acompañado de un sonido musical. Si la banda de theta se encontraba por arriba del umbral establecido el aumento en la intensidad del encendido de la bombilla se congelaba y continuaba cuando dicha banda se encontraba por debajo del umbral, por otra parte, si la banda de beta se encontraba por debajo del umbral el foco se apagaba totalmente.

En la parte superior de la pantalla se presentó un contador, que mostraba el número de veces que la persona cumplió los criterios durante 2.5 seg. de manera continua.

El establecimiento de los niveles de potencia en las bandas de beta y theta que se utilizaron como umbral en cada sesión de neuroretroalimentación se estableció tomando 1 minuto de actividad eléctrica cerebral, en la zona Cz, al inicio de cada sesión, mientras el sujeto se encontraba en reposo con los ojos abiertos. Obtuvimos la amplitud promedio en las bandas de theta y beta; la amplitud de theta la multiplicamos por 1.15 y la amplitud de beta la dividimos entre 1.15. Los valores resultantes fungieron como los umbrales de retroalimentación y, con éstos, aplicamos cuatro periodos de retroalimentación de cinco minutos de duración cada uno.

De manera que en cada sesión de neuroretroalimentación se registró una línea base durante 1 minuto en la condición de reposo con ojos abiertos, posteriormente, se aplicaron cuatro periodos de retroalimentación de 5 minutos de duración cada uno.

A los sujetos se les dio la siguiente instrucción: *En la pantalla hay tres barras, la de la derecha corresponde a la actividad beta, tienes que mantenerla por arriba del umbral;*

cuando lo logres ésta se pondrá en color verde, cuando esté por debajo se iluminará de color rojo. La barra de enmedio corresponde a tu actividad theta, ésta tienes que mantenerla por debajo del umbral, cuando lo logres se pondrá de color verde y cuando no, se pondrá de color rojo al igual que con la barra de beta, sólo que en sentido opuesto. La barra de la derecha corresponde a tu actividad eléctrica muscular, al igual que con la banda de theta, tienes que mantenerla por debajo del umbral y los colores cambiaran en el mismo sentido que para la barra de en medio. Cada que logres mantener todas las condiciones de manera continua por 2.5 seg. el contador de arriba – en medio te dará un punto, y el foco de la derecha en la pantalla se encenderá. Procura mantenerte alerta, despierto, relajado, con ojos abiertos; procura no moverte, mantente atento a una sola idea o estímulo fijo (ejem. contador de la computadora, letra del teclado, foco, reloj, etc.), y busca tu propia estrategia. Procura ser sensible a los cambios en tu estado que correspondan a las variaciones en la amplitud de cada barra. Debes de procurar hacer la mayor cantidad de puntos posibles en cada bloque; vas a hacer 4 bloques por sesión con una duración de 5 minutos por bloque.

Protocolo de Biorretroalimentación (EMG)

Se utilizó el mismo montaje y equipo que para el protocolo de neuroretroalimentación, utilizando una pantalla idéntica que la utilizada en éste, con la diferencia de que la barra ubicada a la derecha correspondió a la actividad eléctrica muscular, y las dos bandas restantes fueron inutilizadas e inmovilizadas en un color verde, con el fin de mantener cierta constancia en la estimulación visual entre ambos grupos.

Al igual que en el protocolo de NR la altura de la barra indicó las variaciones en la potencia en el rango de frecuencias correspondiente. El establecimiento del umbral de

actividad electromiográfica para cada sesión de biorretroalimentación se estableció tomando 1 minuto de actividad eléctrica muscular en la zona Cz, al inicio de cada sesión, mientras el sujeto se encontraba en reposo con los ojos abiertos. Se calculó la amplitud promedio del EMG; dicho valor se dividió entre 1.15, el resultado correspondió al valor del umbral.

Los participantes de este grupo, al igual que en el grupo de NR, obtuvieron un punto por cada 2.5 segundos que consiguieron sostener las condiciones de la biorretroalimentación.

A los participante de este grupo se les dió la siguiente instrucción: *En la pantalla hay tres barras, la de la derecha corresponde a tu actividad muscular, tienes que mantenerla por debajo del umbral, cuando lo logres, ésta se pondrá en color verde, de lo contrario se pondrá de color rojo, las otras dos barras permanecerán todo el tiempo en color verde. Cada que logres mantener la condición de manera continua por 2.5 seg. el contador de arriba – en medio te dará un punto y el foco se encenderá. Procura mantenerte alerta, despierto, relajado, con ojos abiertos, sin moverte. Mantente atento a una sola idea o estímulo fijo (ejem. contador de la computadora, letra del teclado, foco, reloj, etc.), y busca tu propia estrategia. Procura ser sensible a los cambios en tu estado que correspondan a las variaciones en la amplitud de la barra. Debes de procurar hacer la mayor cantidad de puntos posibles en cada bloque. Vas a completar 4 bloques, con una duración de 5 minutos por bloque.*

Se realizaron un total de 20 sesiones de retroalimentación para cada participante, con una frecuencia de 2 a 3 veces a la semana.

Registro electrofisiológico

Con el objetivo de obtener la línea base de los parámetros electroencefalográficos se realizó un registro electrofisiológico de cada uno de los 16 sujetos, obteniendo 10 segmentos de 2 segundos de actividad eléctrica cerebral, con ojos abiertos, en dos días consecutivos. Las zonas de registro fueron Fz, Cz y Pz.

También registramos la actividad eléctrica cerebral durante la ejecución de las tareas de atención.

Dichos registros fueron realizados mediante un equipo Grass Modelo 79, utilizando amplificadores 7P511, con filtros analógicos entre los 0.3 y los 35 Hz y se utilizó un filtro Notch para 60 Hz. La frecuencia de muestreo fue de 256 muestras/ sec.

Para su digitalización y análisis se utilizaron los programas Checasen y Potencor, respectivamente (Guevara & Hernández, 2006).

Tareas de atención

Con el fin de evaluar la atención sostenida aplicamos la prueba de ejecución continua CPTax. Dicha prueba consistió en la presentación individual, en un monitor de computadora, de letras escritas en color amarillo (de la “A” la “Z”) sobre un fondo de color negro.

Los participantes fueron colocados a una distancia del monitor de aproximadamente 70 cm. La duración de cada estímulo fue de 50 mseg. y el intervalo interestímulo fue de 400 mseg. Dicha tarea tuvo una duración aproximada de 19 minutos con 32 segundos y en ella se presentaron 2500 estímulos. El sujeto debía presionar un botón cada vez que aparecía la letra “X”, siempre y cuando ésta hubiese sido precedida por la “A”. La probabilidad de aparición del estímulo blanco fue del 50%.

Durante la tarea se presentaron “estímulos blanco falsos”, que constieron en la presentación de una letra cualquiera (con excepción de la letra X), precedida por una letra “A”; estos ensayos se presentaron con una probabilidad del 20%. Así mismo, en el 10% de los ensayos se presentó la letra “X”, precedida por una letra cualquiera (con excepción de las letra “A”), ambos tipos de ensayo nos permitieron evaluar las respuestas impulsivas.

Antes de la aplicación de cada tarea a los sujetos se les dio una sesión de práctica de 100 estímulos, para corroborar que hubieran entendido las instrucciones y se familiarizaran con el procedimiento.

Con el objetivo de evaluar los procesos de atención selectiva se aplicó la prueba Stroop. Dicha prueba se caracteriza por evaluar la discriminación que realiza el sujeto de características incompatibles dentro de un mismo estímulo, de manera que éste tenga que ignorar una de dichas características y responder a otra.

La prueba consiste en 5 tarjetas de 17.5 X 28 cm, cada una de ellas tiene impresos 100 estímulos de distintos colores. Los colores utilizados, así como las palabras escritas en las tarjetas fueron: negro, verde, rojo, azul y morado.

1. La primer tarjeta consistió en rectángulos que varían en longitud (correspondiente con la longitud de las palabras), rellenos de distintos colores (negro, azul, rojo, morado y verde). En esta tarjeta el sujeto debía nombrar en voz alta el color de cada rectángulo.
2. La tarjeta 2 contiene palabras con nombres de colores que están impresas en un color distinto al que denominan (ejem: la palabra verde impresa en color morado). La tarea del sujeto consistió en nombrar el color con el cual están escritas las palabras (respuesta ante características incompatibles del estímulo).

3. En la tarjeta 3 se presentan los mismos estímulos que en la tarjeta anterior, pero en este caso se invierte la tarea, de manera que ahora el sujeto tiene que nombrar en voz alta las palabras escritas, ignorando el color con el que están impresas.
4. La tarjeta 4 comprende las mismas palabras que en las dos condiciones anteriores con la diferencia de que éstas están impresas en color negro. El sujeto debe nombrar las palabras escritas.
5. En la tarjeta 5, los estímulos comprenden palabras que denominan colores, impresas de tal manera que en algunos de los estímulos (20%) coinciden el color con el que están escritas, con el significado de la palabra (estímulos congruentes), el resto (80%) son estímulos incongruentes. En esta condición el sujeto debe nombrar en voz alta únicamente los estímulos congruentes (atención dividida).

Antes de la aplicación de cada tarea se le dio a cada sujeto una sesión de práctica de 10 reactivos para corroborar que hubiesen entendido las instrucciones y se familiaricen con el procedimiento, el orden las tarjetas fue asignado de forma aleatoria para cada sujeto, siguiendo el mismo orden en las evaluaciones pre y post tratamiento y pareando las secuencias entre los sujetos de los dos grupos.

4.5 Procedimiento

A los sujetos de ambos grupos se les dieron tres sesiones de biorretroalimentación (BR) en electromiografía, con el objetivo de que aprendieran a disminuir su actividad eléctrica muscular. Posteriormente, se obtuvo el registro basal de actividad eléctrica

cerebral durante dos días y se realizaron las pruebas conductuales, con registro simultáneo de EEG.

Posteriormente, se formaron dos grupos de: 10 participantes para el grupo EEG y 8 participantes para el grupo EMG. El primero recibió retroalimentación de la actividad eléctrica cerebral (theta/beta) y el otro grupo de actividad electromiográfica, de acuerdo con los criterios mencionados anteriormente.

A ambos grupos se les aplicaron diez sesiones de biorretroalimentación (BR) de la actividad fisiológica correspondiente, a razón de entre dos y tres sesiones por semana. Con el fin de evaluar los cambios que pudieran presentarse después de diez sesiones de BR, se realizó un registro electrofisiológico en las mismas derivaciones que la línea base, en las condiciones de ojos abiertos, así como también durante la sesión de BR correspondiente. En la siguiente fase, se aplicaron otras 10 sesiones de retroalimentación y, al terminar, se realizaron nuevamente los registros de la actividad eléctrica cerebral en las mismas condiciones que el pretratamiento y durante la bioalimentación (ver figura 1).

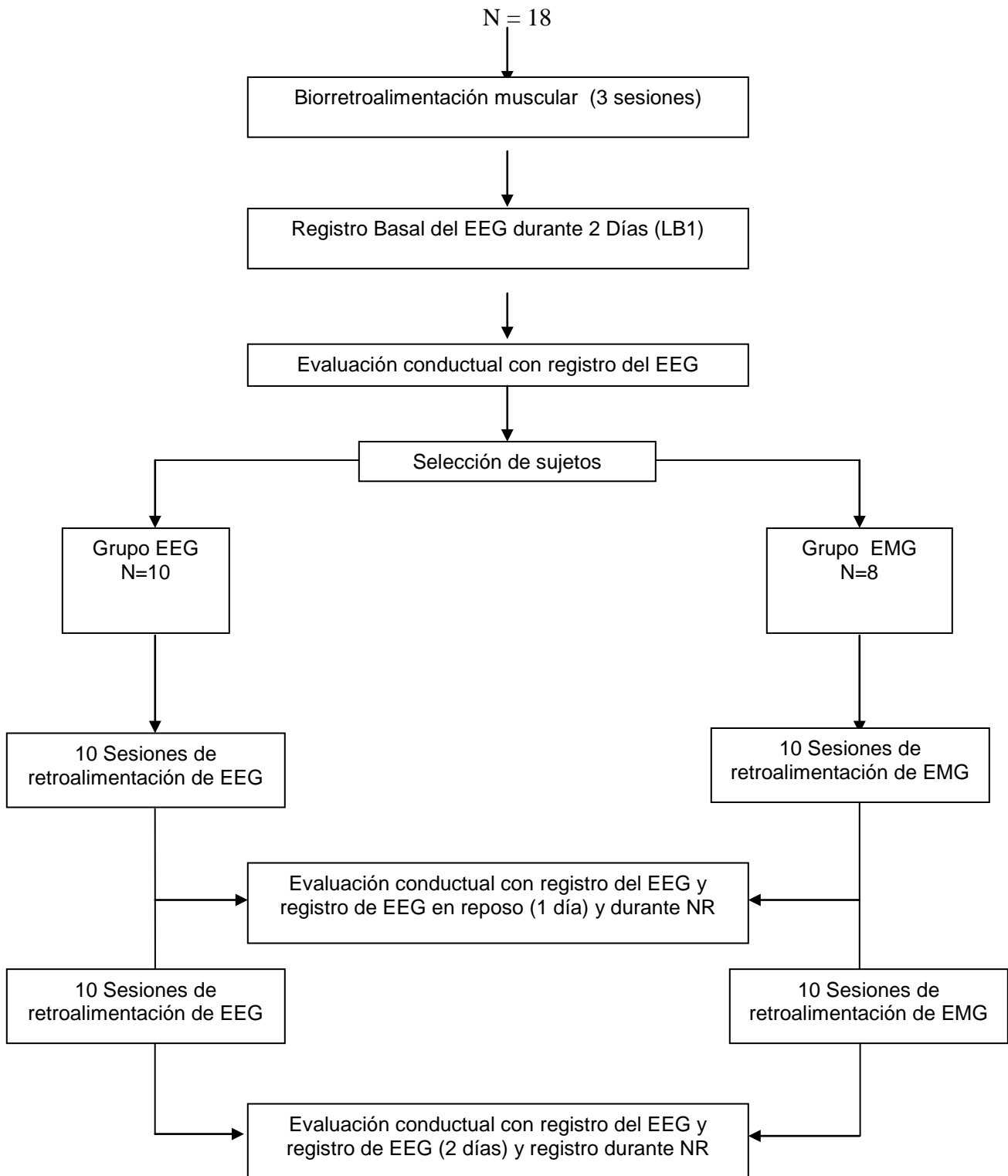


Figura 1

*Diagrama de flujo del procedimiento utilizado con los grupos experimental y contraste.

4.6 Análisis de resultados

Variables dependientes conductuales:

- Atención selectiva (Prueba Stroop): Duración en la ejecución de cada una de las tareas, en segundos.
- Atención sostenida (CPTax): Tiempo de reacción, el número de aciertos y errores de comisión.

Variables dependientes electrofisiológicas

- Valor Pico a Pico de las bandas de theta (4-7 Hz) y beta1 (13-18 Hz), de las sesiones de retroalimentación.
- Potencia relativa de las bandas de theta (4-7 Hz) y beta1 (13-18 Hz), en las regiones cerebrales de la línea media (Fz, Cz, Pz) registradas en las condiciones de reposo con ojos abiertos, durante la ejecución de las pruebas y durante la retroalimentación.

Variables asociadas al procedimiento de neuroretroalimentación

En las 20 sesiones en las que se aplicaron los protocolos de retroalimentación analizamos:

- El número de bloques de 2.5 segundos en los que los sujetos lograron mantener los valores theta y beta, en el rango de retroalimentación.

Variables independientes

Los entrenamientos para controlar actividad eléctrica cerebral y actividad electromiográfica (procesos de retroalimentación).

Análisis estadístico

El análisis estadístico fue realizado con el programa Estadis (Zarabozo, 2002).

- Con el objetivo de determinar el aprendizaje de los sujetos a través de las sesiones de retroalimentación, se realizó un análisis de correlación mediante la prueba Rho de Spearman para datos no paramétricos, entre el número de reforzadores obtenidos por cada sujeto y las sesiones correspondientes y análisis de varianza de los valores normalizados (Z) del promedio los puntos obtenidos por cada grupo en las sesiones 1, 11 y 20.
- Además, con el fin de evaluar los cambios en el desempeño de las pruebas de atención, asociados al tipo de entrenamiento, se realizó un análisis de varianza de 3 factores para cada una de ellas. Para el caso de la CPT el primer factor fueron los grupos, el segundo las evaluaciones (Pre – Post) y el tercer factor los bloques de la CPT (5 bloques). Respecto a la prueba Stroop los primeros 2 factores fueron los mismos que en la CPT y el tercero el tipo de tarea.
- Para evaluar los cambios en la potencia absoluta durante la retroalimentación se realizó un análisis de varianza de 3 factores por cada banda del EEG (Grupos, evaluaciones y reposo & retroalimentación), del registro obtenido en la derivación Cz, de las sesiones de retroalimentación: 1, 11 y 20, durante el reposo previo a la retroalimentación y el promedio de los bloques 2,3 y 4. Estos datos fueron

procesados previo análisis de acuerdo al procedimiento sugerido por Guevara y Hernández (2006), a fin de poder utilizar en su análisis pruebas paramétricas.

- A fin de evaluar cambios en la potencia relativa de la actividad eléctrica cerebral durante la neuroretroalimentación 20 (grupos, evaluaciones y reposo & retroalimentación), se realizó un análisis de varianza de 3 factores por banda del EEG, en distintas zonas del sistema 10/20 (grupos, evaluaciones y reposo & retroalimentación).
- Con el fin de evaluar cambios en el EEG en reposo con ojos abiertos se realizó un análisis de varianza de dos factores (grupos, evaluaciones).
- Para determinar los cambios en la actividad eléctrica cerebral durante la CPT se realizó un análisis de varianza de tres factores (grupos, evaluaciones y bloques de la prueba), con los valores que se obtuvieron al restar la potencia relativa de cada banda, registrada durante la ejecución de la tarea, a la potencia relativa obtenida en estado de reposo, previo a la ejecución de la tarea.

Capítulo 5: Resultados:

5.1 Control de las variables electrofisiológicas (EEG - EMG)

En las sesiones de retroalimentación, ambos grupos presentaron un incremento gradual en el control de las variables electrofisiológicas (theta/beta y EMG) (figura 1).

En cada grupo se realizó un análisis de correlación entre el número de sesiones y el número de puntos logrados al cumplir con los parámetros establecidos en un periodo continuo de 2.5 seg., en cada una de las sesiones de retroalimentación. El análisis indicó una correlación positiva tanto para el grupo EEG ($Rho= 0.82$; $p < 0.0001$), como para el grupo EMG ($Rho= 0.86$; $p < 0.0001$).

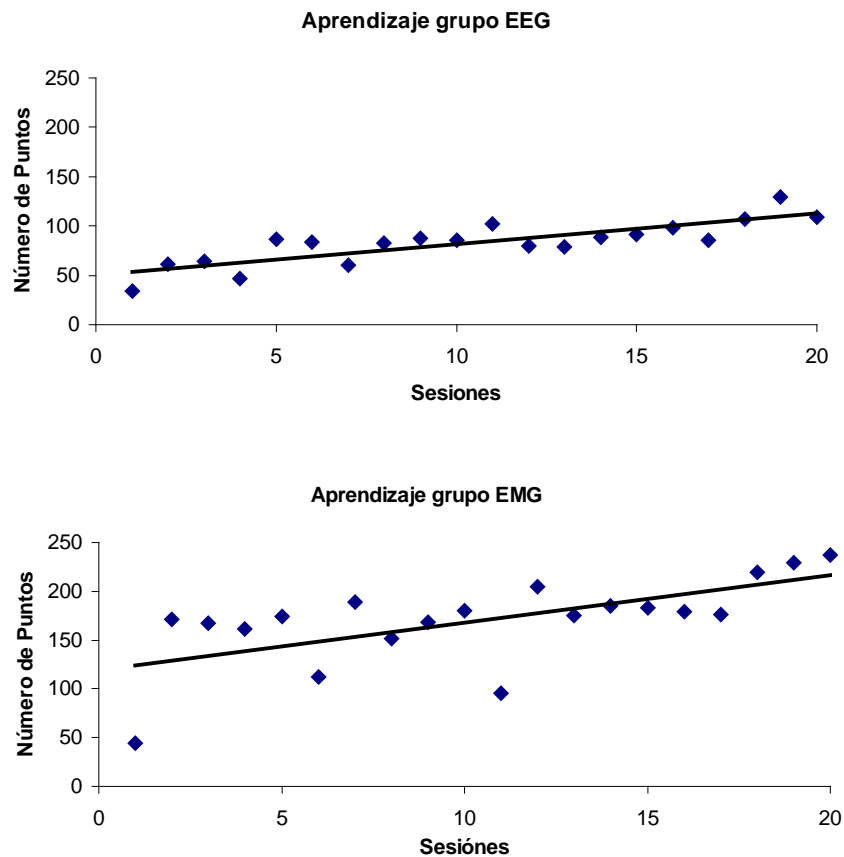


Figura 1: En estos gráficos se muestra el número de puntos obtenidos en las sesiones de retroalimentación en el grupo EEG, en el que se retroalimentó los parámetros theta / Beta, y en el grupo en que se retroalimentó el EMG.

Utilizando los datos normalizados, aplicamos un análisis de varianza para comparar la cantidad de puntos obtenidos, entre ambos grupos, en las sesiones 1, 11 y 20 de bioalimentación (BR). Los resultados indicaron diferencias significativas entre sesiones en ambos grupos ($F_{(2,42)}=30.83$; $p<0.0001$), el análisis *a posteriori* reveló un incremento progresivo en el número de puntos en la sesión 11 respecto de la 1 ($p < 0.01$) y de la sesión 20 respecto de la 11 ($p < 0.05$) (figura 2).

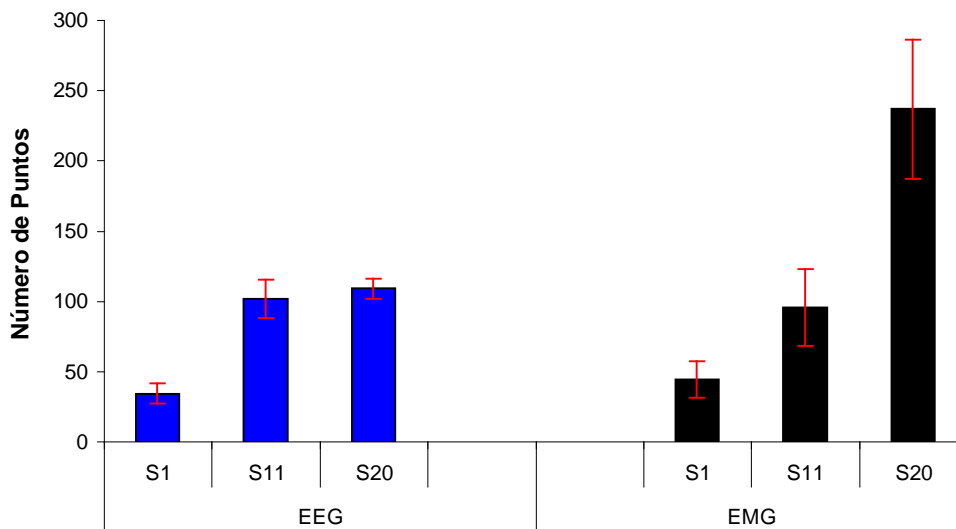


Figura 2: En esta gráfica se muestra el número de puntos obtenidos en las sesiones 1 (S1), 11 (S11) y 20 (S20) en el grupo en el que se retroalimentó la actividad electroencefalográfica (theta / Beta) y en el grupo en que se retroalimentó el EMG.

Nota: dos de los participantes fueron excluidos, uno debido a que no completó las sesiones de retroalimentación y el otro debido a que no mostró pendiente positiva en los criterios de aprendizaje, ambos correspondientes al grupo EEG.

5.2 Efecto de la retroalimentación sobre la ejecución de tareas de atención

5.2.1 Atención sostenida (CPTAX)

Con el fin de evaluar los cambios que se produjeron en la prueba de ejecución continua (CPT) realizamos un análisis de varianza de tres factores a las variables: aciertos, errores y tiempo de reacción. Los factores analizados fueron: grupos (EEG & EMG) evaluaciones (Pre & Post bioretroalimentación) y bloques de 5 minutos de la CPT.

- En la variable aciertos se encontraron diferencias significativas en el factor bloques de la CPT ($F_{(4,56)}=21.73$; $p < 0.0001$). En ambos grupos (EEG & EMG) se presentó un decremento gradual en el número de aciertos a medida que transcurrió la prueba (ver figura 3).
- En esta misma variable se encontró una interacción significativa entre los factores grupos x evaluaciones ($F_{(1,14)}=6.01$; $p < 0.03$); el análisis *a posteriori* indicó que las diferencias significativas correspondieron a un incremento en el número de aciertos en la evaluación Post-tratamiento únicamente en el grupo que recibió retroalimentación del EEG ($p < 0.01$).
- No hubo diferencias significativas en el factor grupos, ni en las interacciones grupos x bloques, ni en grupos x condiciones x bloques de la CPT.

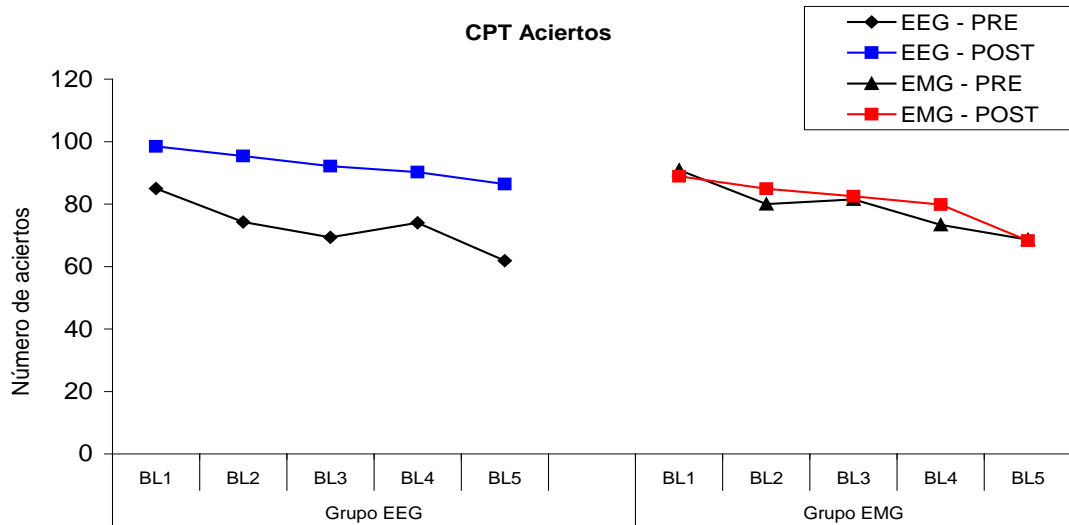


Figura 3: En este gráfico se muestra el número de aciertos en cada uno de los 5 bloques de la CPT, en las condiciones de pre y post tratamiento para los grupos EEG y EMG.

- Para la variable errores de comisión se encontraron diferencias significativas en el factor bloques ($F_{(4,56)}=26.89$; $p < 0.0001$), presentándose un incremento gradual en el número de errores de comisión a lo largo de la tarea (figura 5).
- No se observaron diferencias significativas en los otros factores, ni en ninguna de las interacciones.

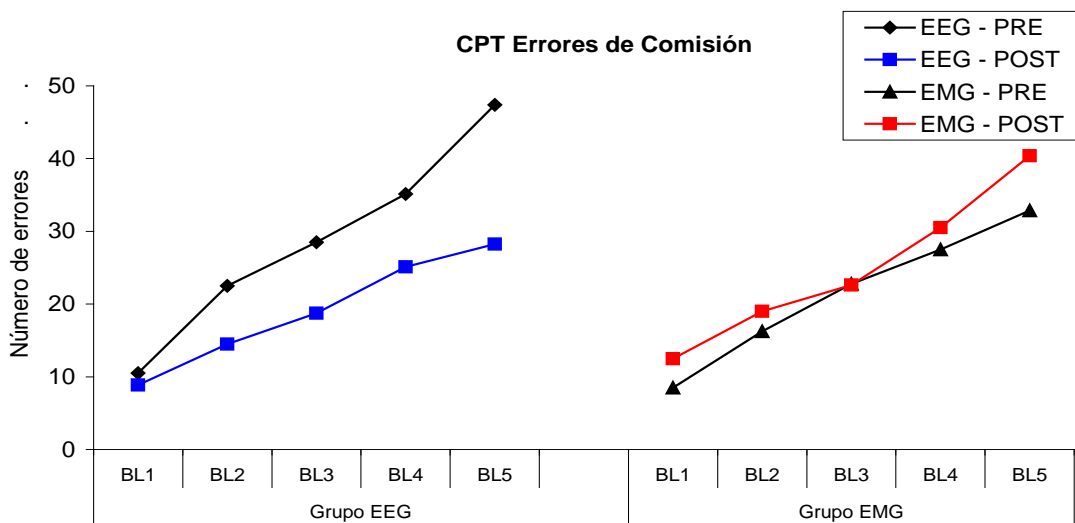


Figura 4: En este gráfico se muestra el número de errores de comisión en cada uno de los 5 bloques de la CPT, en las condiciones de pre y post tratamiento para grupo EEG y grupo control EMG.

- Para la variable tiempo de reacción se observaron diferencias significativas en el factor evaluaciones (figura 5), presentándose una disminución en el tiempo de reacción en la evaluación post-tratamiento ($F_{(1,14)}=6.78$; $p < 0.03$).
- Se encontraron diferencias significativas en esta variable en el factor bloques ($F_{(4,56)}=12.69$; $p < 0.0001$). El análisis *a posteriori* reveló una disminución en el tiempo de reacción en el último bloque de la prueba respecto a los otros ($p < 0.01$).
- Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre grupos, así
- como tampoco en ninguna de las interacciones.

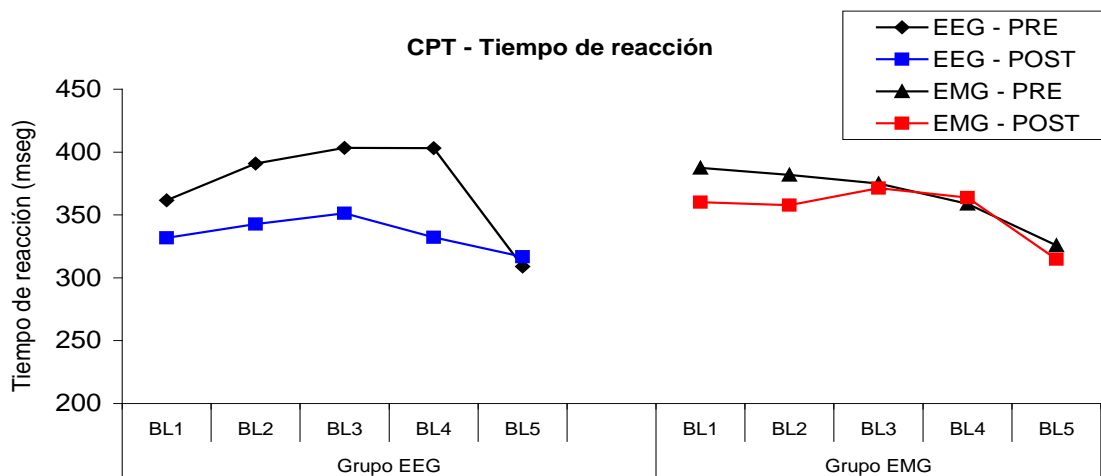


Figura 5: En este gráfico se observa el promedio del tiempo de reacción en cada uno de los 5 bloques de la CPT en las condiciones de pre y post tratamiento para los grupos EEG y EMG.

5.2.2 Atención enfocada – dividida (Stroop)

Con el fin de evaluar los cambios que se produjeron en la prueba Stroop realizamos un análisis de varianza de tres factores (grupos, evaluaciones y tareas).

- Se encontró una reducción significativa en el tiempo de ejecución de todas las tareas en la evaluación post-tratamiento ($F_{(1,14)}=7.99$; $p < 0.02$), así como en el tiempo requerido para la ejecución entre las tareas ($F_{(4,24)}= 165.71$; $p < 0.0001$). El análisis *a posteriori* reveló que en la condición en la cual el sujeto tenía que mencionar el color de las palabras, se presentó un tiempo de ejecución mayor respecto al observado en las otras condiciones ($p < 0.01$), por otra parte, el tiempo de ejecución en la tarea en la cual los participantes tenían que mencionar estímulos que fuesen congruentes (atención dividida), fue superior a las tareas de lectura de palabras (en negro o en colores) y a la denominación de colores ($p < 0.01$). Por último, la tarea en la cual se nombraron barras de colores, generó tiempos mayores ($p < 0.01$) que la lectura de palabras (en negro o en colores) (figura 6).
- No se encontraron diferencias significativas en el factor grupos, así como tampoco en ninguna de las interacciones, aunque en la interacción grupos x evaluaciones x tareas la P fue de 0.06, notándose que el grupo que recibió la neuroretroalimentación presentó una mejoría en la ejecución post-tratamiento en la tarea en la que los sujetos tenían que denominar el color de palabras escritas en colores incongruentes.

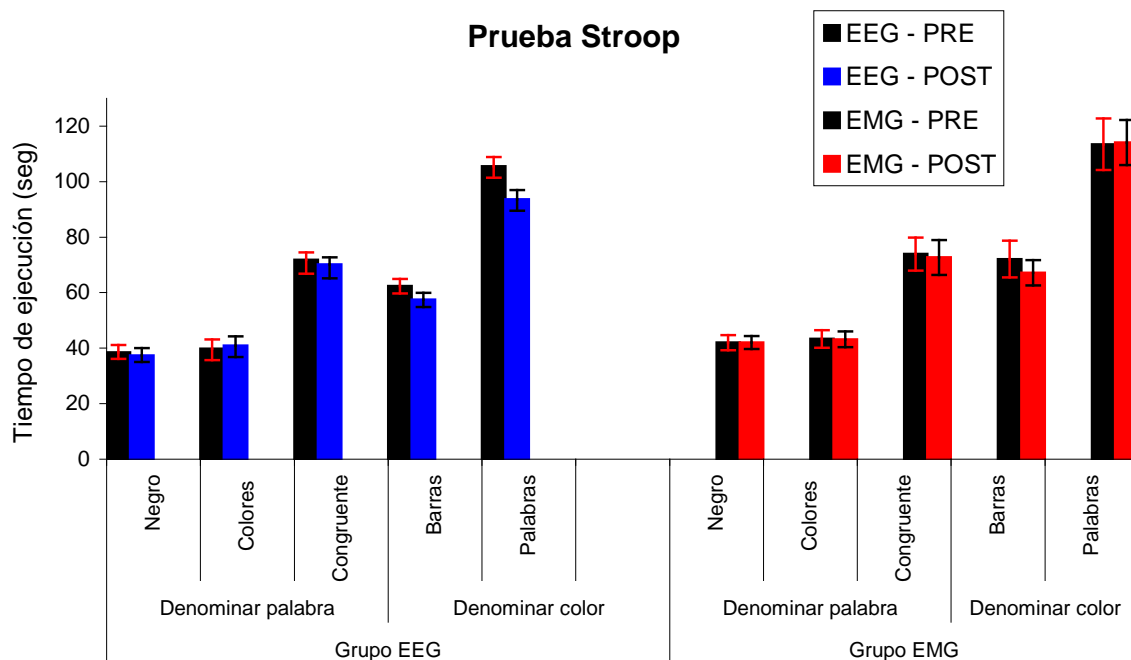


Figura 6: En este gráfico se muestra el tiempo de ejecución para cada una de las 5 tarjetas de la prueba Stroop en las condiciones de pre y post tratamiento, para los grupos EEG y EMG.

En resumen, al analizar el efecto de la biofeedback sobre la ejecución de las tareas de atención, se observa que el grupo que recibió neurofeedback presentó una mejora en la ejecución de la tarea de atención sostenida, que se manifestó por un incremento en el número de aciertos posteriores al tratamiento y una tendencia a disminuir el número de errores de comisión y el tiempo de reacción. En cambio, el grupo al que se retroalimentó la actividad muscular no presentó cambios entre la evaluación pre y la post-tratamiento. En cambio, en la tarea que evalúa los procesos de atención enfocada o dividida se encontró que tanto la neurofeedback como la retroalimentación de la actividad muscular produjeron un decremento en el tiempo de ejecución de las tareas.

Además, en la variable “errores de comisión” de la CPT se presentaron diferencias en función de las características mismas de la prueba, mientras que en la prueba Stroop se observan diferencias entre las tareas.

<u>CPT</u>				<u>Stroop</u>
Factores (ANOVA)	Aciertos	Errores de comisión	Tiempo de reacción	Tiempo de ejecución
Grupos	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Evaluaciones	N.S.	N.S.	P < 0.03	P < 0.02
Bloques (CPT) – Tareas (Stroop)	p < 0.0001	p < 0.0001	p < 0.0001	P < 0.0001
Grupos x Evaluaciones	P < 0.03	N.S.	N.S.	N.S.
Grupos x Bloques	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Evaluaciones x Bloques	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Grupos x Evaluaciones x Bloques o tareas	N.S.	N.S.	N.S.	p = 0.065

Figura 7: En esta tabla se muestra un resumen de los resultados obtenidos al aplicar los análisis de varianza en las tareas CPT y Stroop. (N.S. = No Significativo).

5.3 Cambios en las bandas de Theta y Beta durante la retroalimentación.

5.3.1 Amplitud pico a pico en las bandas de theta y beta en la derivación Cz

Con el objetivo de evaluar los cambios en la amplitud pico a pico de las bandas de Theta y Beta a lo largo de las sesiones de biofeedback, se realizó un ANOVA de tres factores (grupos x sesiones x condiciones). El factor “sesiones” estuvo constituido por los registros obtenidos durante las sesiones 1, 11 y 20, mientras que el factor “condiciones” estuvo constituido por los estados de línea base (LB) y durante la biofeedback (BR).

5.3.1.1 Theta:

Para la banda de theta se encontraron diferencias significativas entre condiciones, observándose mayor amplitud de theta durante la condición de BR ($F_{(1,14)} = 13.26$; $p < 0.01$). No se observaron diferencias significativas entre grupos, ni entre sesiones. Tampoco se observaron diferencias significativas en ninguna de las interacciones. La variabilidad interindividual fue mayor en el grupo EMG (figura 8).

5.3.1.2 Beta:

En la banda de beta se presentó una interacción significativa entre los factores grupos x evaluaciones x condiciones ($F_{(2,28)} = 5.51$; $p = 0.001$). El análisis *a posteriori* indicó mayor amplitud pico a pico durante la BR respecto a la LB, únicamente en la sesión 20 en el grupo EEG ($p < 0.05$), por otra parte, se observó una tendencia en el grupo EMG a presentar mayor amplitud pico a pico en esta banda en la sesión 20 durante la condición de LB respecto de la misma condición en la sesión 1 (Duncan $p < 0.01$). Al igual que en la

amplitud promedio de la banda de Theta, en este caso también se presentó una mayor variabilidad interindividual en el grupo EMG. (figura 8).

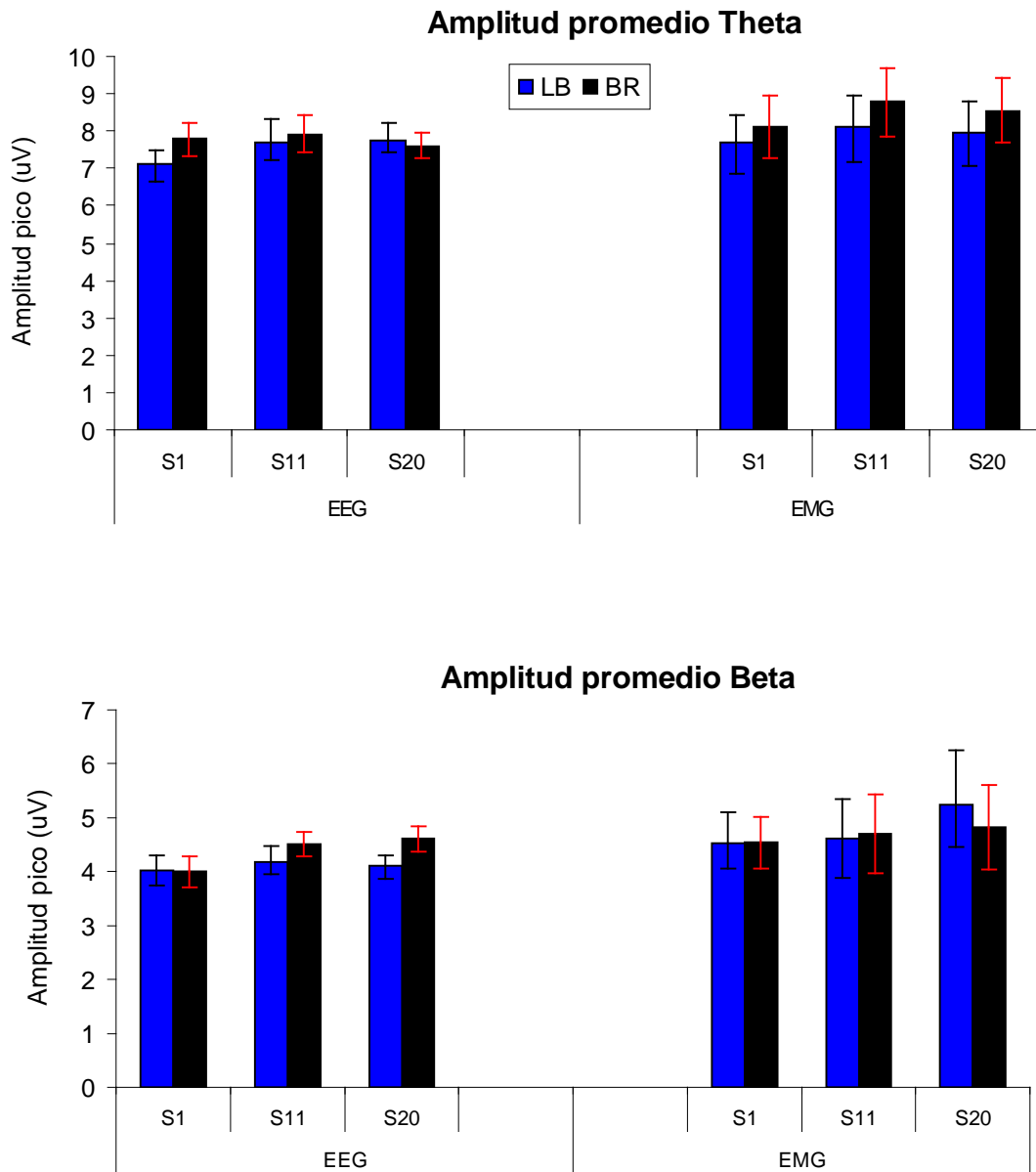


Figura 8: En este gráfico se muestra el promedio de la amplitud pico a pico de las bandas de theta y beta en Cz en las sesiones 1, 11 y 20, en las condiciones de línea base en reposo con ojos abiertos (azul) y durante la BR (negro).

5.4 Cambios en la potencia relativa en las bandas de theta y beta en la línea media durante la BR.

Otro de los objetivos del proyecto fue evaluar si la BR produce cambios en las bandas de Theta y Beta en otras derivaciones, distintas a la empleada en las sesiones de neuroretroalimentación. Para ello, en las sesiones 11 y 20 registramos simultáneamente la actividad eléctrica cerebral en el equipo de BR y en el polígrafo Grass.

Con los datos obtenidos en el polígrafo Grass se realizó un ANOVA de tres factores para los valores de potencia relativa de las bandas de Theta y Beta en las derivaciones Fz, Cz y Pz. Los factores incluidos en el análisis fueron: grupos (EEG – EMG), sesiones (11 y 20) y condiciones (LB – BR).

5.4.1 Potencia relativa de theta

Encontramos una interacción triple (grupos x evaluaciones x condiciones) en la banda de Theta, en las derivaciones Fz ($F_{(1,14)}=6.78$; $p < 0.03$) y Cz ($F_{(1,14)}=4.66$; $p < 0.05$). El análisis *a posteriori* reveló una disminución en la potencia relativa de esta banda en ambas derivaciones en la sesión 20 respecto a la sesión 11 durante la condición de reposo con ojos abiertos ($p < 0.05$), únicamente en el grupo EEG (figura 9). En la derivación Pz no se observaron diferencias significativas en ninguno de los factores principales ni tampoco en las interacciones.

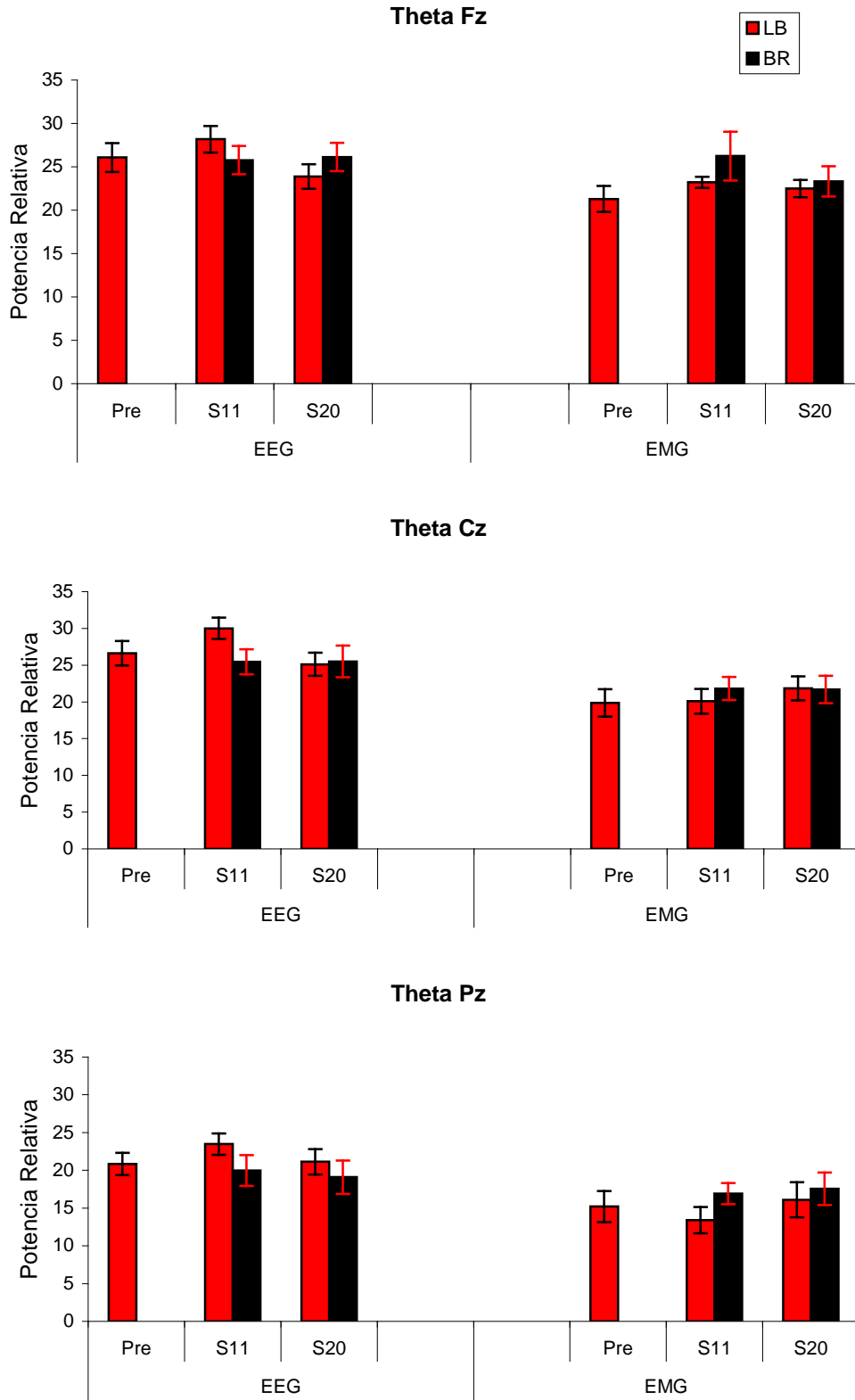


Figura 9: En este gráfico se muestra la potencia relativa de theta en la línea media (Fz, Cz y Pz) en la condición de Línea Base en reposo con ojos abiertos (LB) y durante la biorretroalimentación (BR), en ambos grupos en la sesión de Pre-tratamiento y las sesiones de biorretroalimentación 11 y 20.

5.4.2 Potencia relativa de Beta1

En la derivación Cz se presentó una interacción entre los factores grupos x condiciones ($F_{(1,14)}=9.45$; $p < 0.01$). El análisis *a posteriori* indicó que solamente el grupo que recibió neuroretroalimentación presentó un incremento en la potencia relativa de la banda de beta durante las sesiones de retroalimentación respecto a la obtenida en la condición de línea base ($p < 0.01$). Además, en la zona Fz se presentó una interacción triple (grupos x sesiones x condiciones) ($F(1,14)=6.19$; $p < 0.03$), solamente el grupo que recibió neuroretroalimentación presentó un incremento en la potencia de beta durante la sesión 20 de BR respecto a la obtenida en la línea base ($p < .05$), (figura 10). No se observaron diferencias significativas en la derivación Pz.

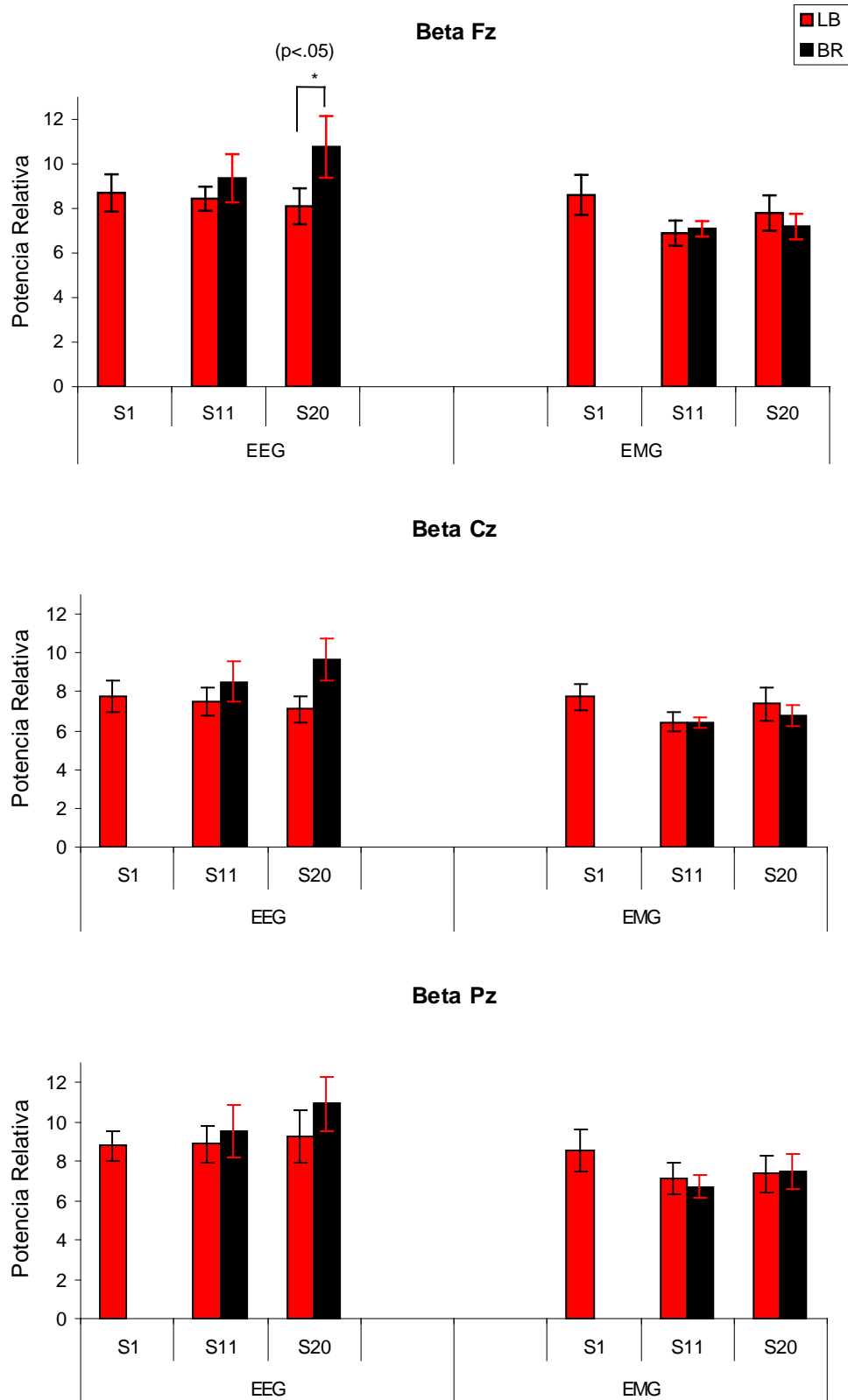


Figura 10: En estos gráficos se muestra la potencia relativa de beta en la línea media (Fz, Cz y Pz) en las condiciones de Línea Base en reposo con ojos abiertos (LB) y durante la biorretroalimentación (BR), para ambos grupos en la sesión de Pre-tratamiento y en las sesiones de biorretroalimentación 11 y 20.

La siguiente tabla resume los resultados obtenidos en los análisis de varianza realizados en las derivaciones Fz, Cz y Pz, para la potencia relativa en las bandas de Theta y Beta.

<u>Reposo & Biorretroalimentación</u>						
Factores ANDEVA	Theta Potencia Relativa			Beta1 Potencia Relativa		
	Fz	Cz	Pz	Fz	Cz	Pz
Grupos	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Evaluaciones	p < 0.02	N.S.	N.S.	N.S.	p < 0.02	N.S.
Condiciones (Rep & BF)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Grupos X Evaluaciones	N.S.	N.S.	N.S.	p < 0.01	p < 0.01	N.S.
Grupos X Tratamientos	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Evaluaciones X Tratamientos	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Grupos X Evaluaciones X Tratamientos	p < 0.03	p < 0.05	N.S.	p < 0.03	N.S.	N.S.

Figura 11: En esta tabla se muestran los resultados revelados por los ANDEVA para el registro de la actividad eléctrica cerebral (EEG – potencia absoluta), para la condición de Reposo & Neuroretroalimentación (N.S. = No Significativo).

5.5 Cambios en la potencia relativa de Theta y Beta durante el estado de reposo.

Otro objetivo fue verificar si los cambios producto del tratamiento se presentan en vigilia en reposo para lo cual primeramente se realizó una comparación de la potencia relativa del registro del EEG en los participantes antes del tratamiento, después de diez sesiones de tratamiento (Post10) y al terminar el mismo (Post20), con estos datos se realizó un análisis de varianza de 2 factores: a) los grupos y b) evaluaciones (Pre, Post10 y Post20), para cada derivación (Fz, Cz y Pz).

5.5.1 Potencia relativa de Theta en reposo

Para la banda de theta en Fz y Cz, el ANDEVA reveló diferencias significativas entre grupos en las tres derivaciones (Fz: $F_{(1,32)}=4.79$; $p < 0.05$; Cz: $F_{(1,32)}=6.5$; $p < 0.03$ y Pz: $F_{(1,32)}=4.99$; $p < 0.05$), indicando mayor potencia relativa para el grupo EEG.

Por otra parte se observaron diferencias significativas entre evaluaciones en las derivaciones Fz y Cz ($F_{(2,28)}=4.15$; $p < 0.03$; $F_{(2,28)}=5.25$; $p < 0.02$, respectivamente); el análisis a *posteriori* reveló mayor potencia relativa de esta banda en el registro Post10 respecto a los registros Pre y Post20, en ambas derivaciones ($p < 0.05$), no se observaron interacciones significativas en ninguna de las derivaciones (figura 12).

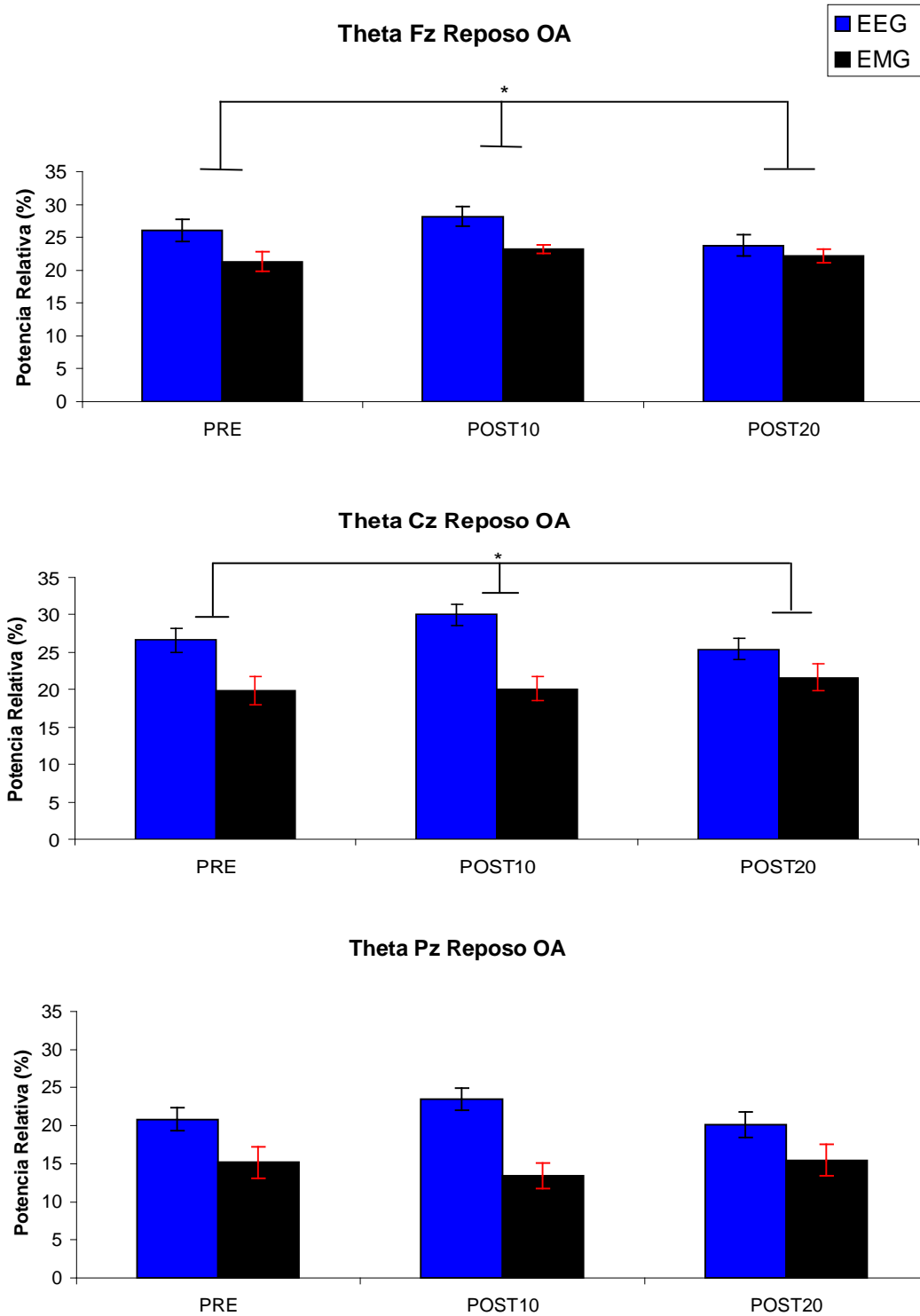


Figura 12: En estos gráficos se muestra la potencia relativa de theta en la línea media (Fz, Cz y Pz) en la condición de reposo en las evaluaciones Pre tratamiento, Post10 y Post20, para ambos grupos.

5.5.2 Potencia relativa de Beta 1 en reposo

En la banda de Beta1 no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los factores (Figura 13).

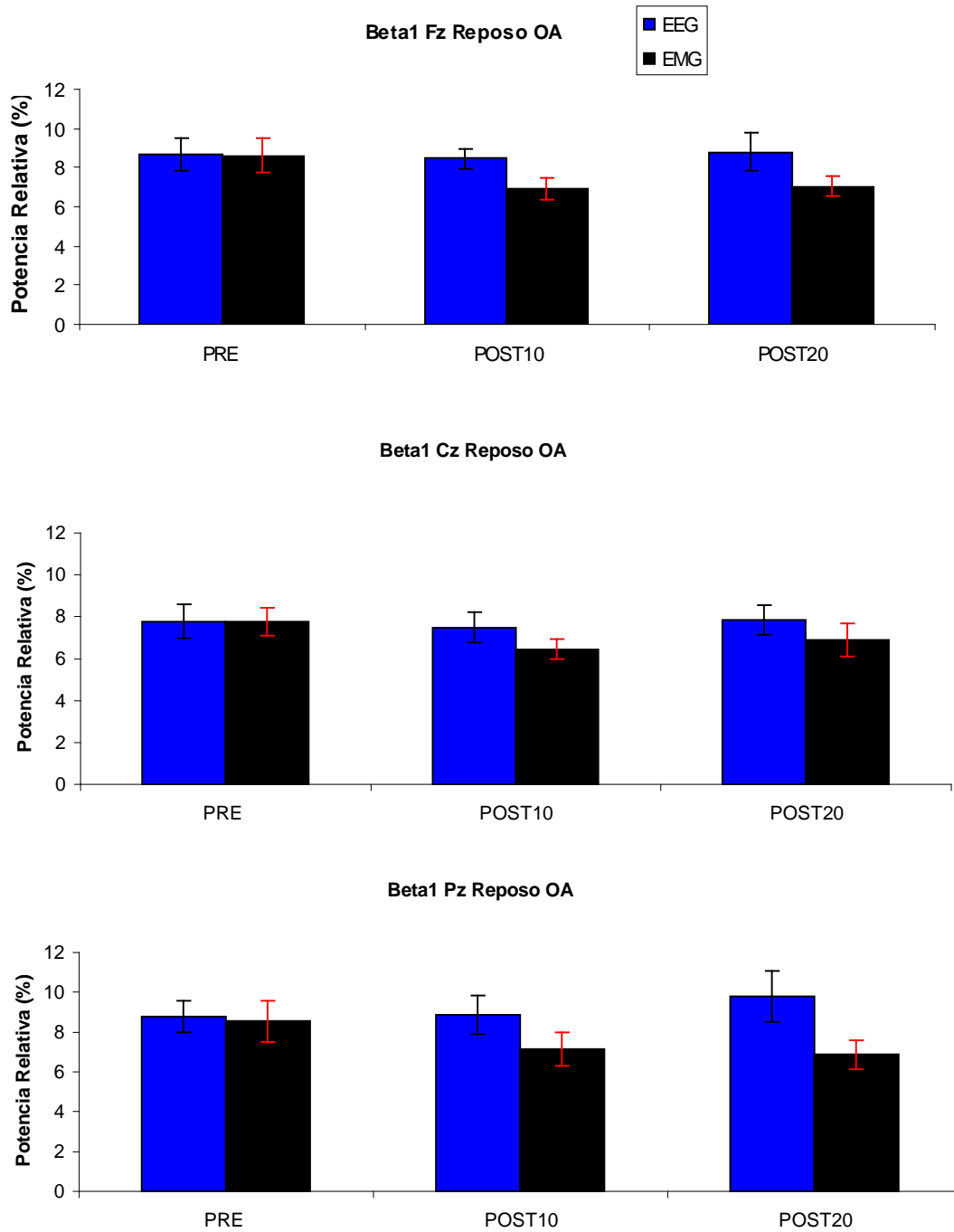


Figura 13: En estos gráficos se muestra la potencia relativa de theta en la línea media (Fz, Cz y Pz) en la condición de reposo, en las evaluaciones Pre tratamiento, Post10 y Post20, para ambos grupos.

<u>Evaluaciones: Reposo – Ojos abiertos</u>						
Factores ANDEVA	Theta Potencia Relativa			Beta Potencia Relativa		
	Fz	Cz	<u>Pz</u>	Fz	Cz	<u>Pz</u>
Grupos	P < 0.05	P < 0.03	P < 0.05	N.S.	N.S.	N.S.
Evaluaciones (Pre, Post10 y Post20)	P < 0.03	P < 0.02	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Grupos x Evaluaciones	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Figura 14: En esta tabla se muestra un resumen de los resultados obtenidos en los análisis de varianza realizados (Pre tratamiento, Post10 sesiones y Post20 sesiones de BR; N.S. = No Significativo).

5.6 Cambios en la potencia relativa de Theta y Beta durante la tarea de ejecución continua.

Con el objetivo de analizar el comportamiento de las bandas de Theta y Beta durante la ejecución de la prueba CPT se realizó un ANDEVA de 3 factores para cada una de las derivaciones analizadas (Fz, Cz y Pz). Los factores fueron: 1) grupos 2) evaluaciones y 3) bloques de la CPT (5 bloques).

El análisis de varianza se llevó a cabo con los datos que surgieron al restarle a la potencia relativa obtenida en cada bloque de la CPT, el valor obtenido en la condición de reposo (LB) tomado momentos antes de la aplicación de la prueba.

5.6.1 Potencia relativa de Theta durante la ejecución de la prueba CPT

En la banda de theta no se observaron diferencias significativas en ninguna de las derivaciones analizadas (Fz, Cz y Pz), para ninguno de los factores (grupos, evaluaciones y bloques de la prueba), ni tampoco en las interacciones entre los factores (Figura 15).

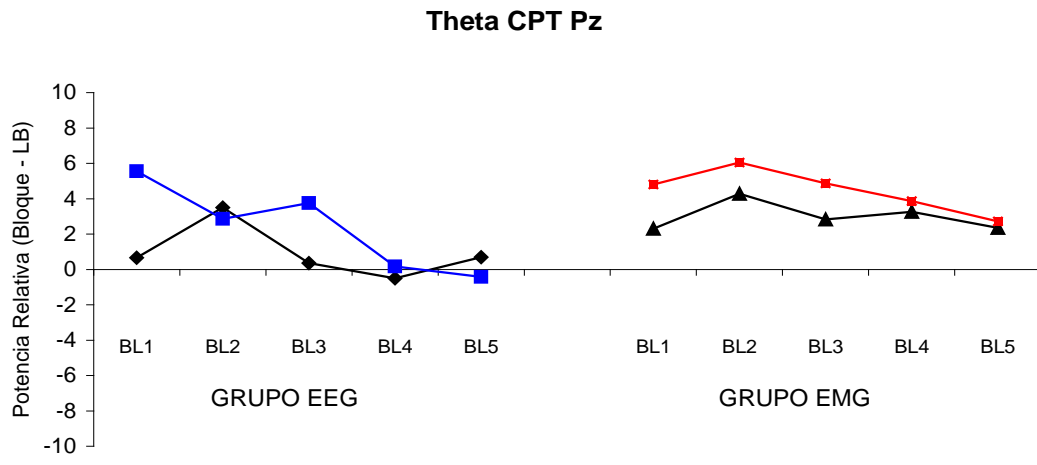
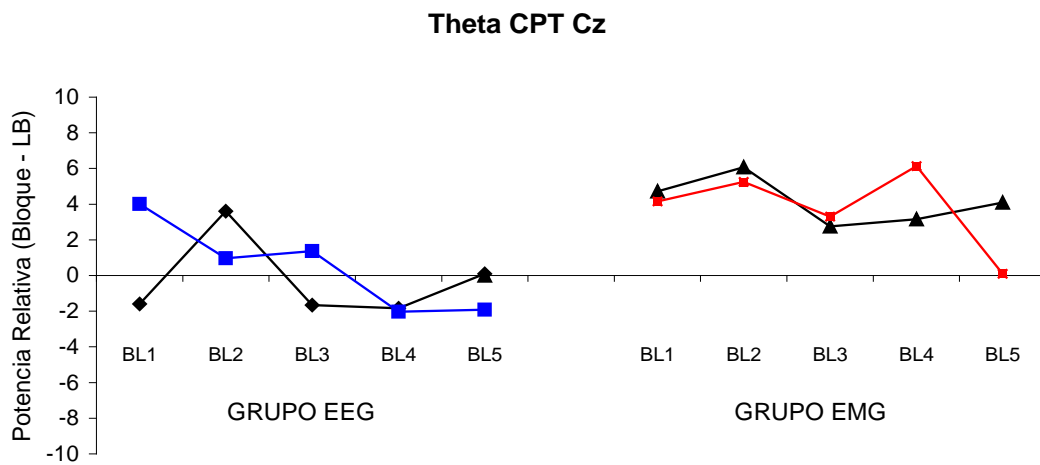
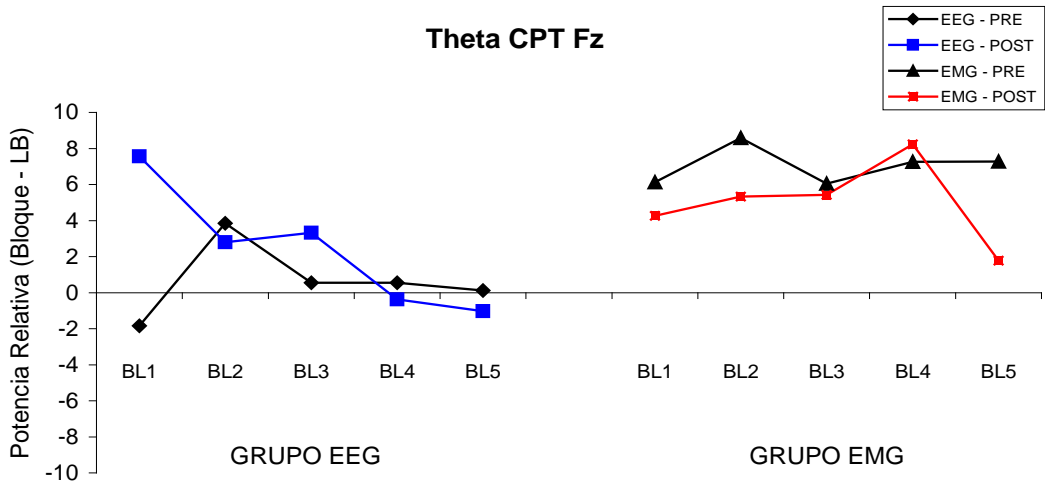


Figura 15: En estos gráficos se muestra la resta de la potencia relativa de la banda de theta, en cada una de las derivaciones analizadas (Fz, Cz y Pz), durante cada uno de los bloques de la prueba de desempeño continuo respecto de su condición basal de reposo.

5.6.2 Potencia relativa de Beta 1 durante la ejecución de la prueba CPT

Esta banda presentó un rango de variación muy reducido durante la ejecución de la tarea, respecto al obtenido en la condición de reposo.

Los resultados de la banda de beta1 asociados a la prueba de desempeño continuo CPT_{AX} fueron los siguientes:

En la derivación Fz se encontraron diferencias significativas entre grupos ($F_{(1,14)}=6.26$; $p < 0.03$); el grupo EEG presentó menor actividad en esta banda durante la aplicación de la prueba que el grupo EMG. No se presentaron diferencias significativas entre evaluaciones, ni entre los bloques de la prueba; tampoco se observaron interacciones significativas para esta derivación (Figura 16).

En la derivación Cz se presentó una interacción significativa entre los factores grupos x bloques ($F_{(4,56)}=2.95$; $p < 0.03$); el análisis *a posteriori* reveló que la actividad beta1 del grupo EEG durante el bloque 2 de la prueba fue significativamente menor que el mismo bloque del grupo EMG ($p < 0.01$) y que el bloque 5 del mismo grupo ($p < 0.05$) (Figura 18).

Por otra parte se encontraron diferencias significativas en la interacción evaluaciones x bloques de la prueba ($F_{(4,56)}=4.47$; $p < 0.005$); el análisis *a posteriori* reveló que solamente en la evaluación pre-tratamiento se presentó una mayor potencia relativa en esta banda en el bloque 5 respecto al bloque 1 de la misma evaluación ($p < 0.01$), y al bloque 5 de la evaluación post-tratamiento ($p < 0.05$) (Figura 19). No se observaron diferencias significativas en esta banda para los factores grupos y evaluaciones, así como tampoco en la interacción triple.

Para la derivación Pz se encontraron diferencias significativas en la interacción grupos x evaluaciones ($F_{(1,14)}=2.69$; $p < 0.05$), revelando el análisis *a posteriori* menor

potencia relativa en esta banda para el grupo EEG en la evaluación post-tratamiento en comparación con la evaluación pre-tratamiento del mismo grupo ($p < 0.01$); en las derivaciones Fz y Cz se observa la misma tendencia. En cambio, el grupo EMG presentó valores mayores ($p < 0.05$) de la variable durante la evaluación post-tratamiento respecto a lo observado en su primera evaluación (Figura 17).

Se observaron diferencias significativas en la interacción evaluaciones x bloques ($F_{(4,56)} = 3.78$; $p < 0.01$), indicando el análisis *a posteriori* mayor potencia relativa de beta1 en esta derivación (Pz) en el bloque 5 de la evaluación pre-tratamiento respecto del bloque 1 de la misma evaluación ($p < 0.01$). No se encontraron diferencias significativas entre los factores grupos ni evaluaciones, tampoco se observaron diferencias significativas en la interacción grupos x bloques, ni tampoco en la interacción triple grupos x evaluaciones x bloques.

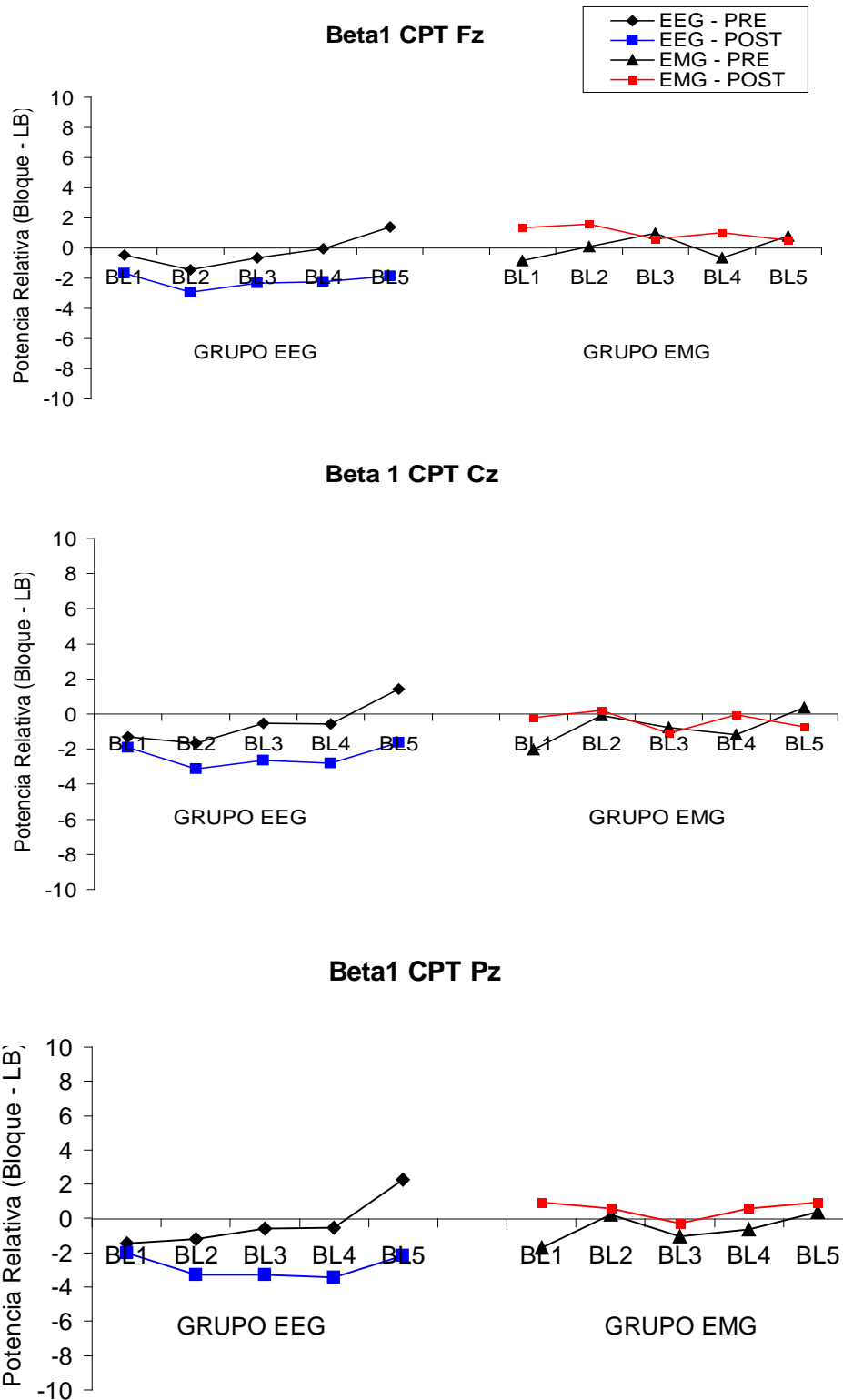


Figura 16: En este gráfico se muestra la resta de potencia relativa de la banda de beta1 en la línea media (Fz, Cz y Pz) durante cada uno de los bloques de la prueba de desempeño continuo respecto de su condición basal de reposo.

	<i>CPT Theta REL</i>			CPT Beta1 REL		
<i>Derivación</i>	Fz	Cz	Pz	Fz	Cz	Pz
ANDEVA	CPT-LB			CPT-LB		
Grupos	N.S.	N.S.	N.S.	P<.03	N.S.	N.S.
Evaluaciones	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Bloques CPT	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	P<0.03	P<0.05
Grupos X Evaluaciones	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	P<0.04
Grupos X Bloques	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	P<0.03	N.S.
Evaluaciones X Bloques	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	P<0.01	P<0.01
Grupos X Evaluaciones X Bloques	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

Figura 17: En esta tabla se muestran las diferencias significativas (N.S. = No Significativo, N.A. = No Aplica) reveladas por los ANDEVA para el registro de actividad eléctrica cerebral durante la CPT restada al registro de la actividad en reposo correspondiente (EEG – potencia relativa).

5.7 Resumen de resultados

Aprendizaje:

Los análisis de correlación indican aprendizaje en ambos grupos al mostrar correlación positiva significativa entre el número de sesiones y el número de puntos obtenidos en cada sesión, el análisis de varianza por su parte también reveló un incremento progresivo entre las sesiones 1, 11 y 20, en el número de reforzadores obtenidos en ambos grupos.

Conductual:

En relación a las variables conductuales se observó un incremento significativo en el número de aciertos únicamente para el grupo EEG y no para el grupo EMG, ambos grupos mostraron un decremento gradual en esta variable a lo largo de la prueba. Por otra parte ambos grupos muestran una disminución en el tiempo de reacción en la evaluación Post tratamiento y un decremento en el tiempo de reacción en el último bloque, en la variable errores de comisión se observó un incremento progresivo a lo largo de la prueba.

Para la prueba de Stroop la única diferencia significativa observada fue en función al tiempo de ejecución de cada tarjeta observándose una disminución en ambos grupos, sin embargo se observó una tendencia ($p=.065$) a disminuir el tiempo de ejecución en la prueba de denominar color ante palabra incongruente únicamente para el grupo EEG.

Actividad eléctrica cerebral:

Condición	Theta
NR/ Reposo & BR/ Reposo	No se observaron diferencias significativas entre las condiciones de NR ó BR y reposo tanto en potencia relativa en ninguna derivación como en amplitud pico a pico (Cz). Se observó una disminución de la potencia relativa de esta banda entre las sesiones Post10 y Post20 en la condición de reposo en las derivaciones Fz y Cz únicamente para el grupo EEG.
	Theta (Potencia relativa)
Reposo OA	Se observaron diferencias significativas en esta banda entre grupos, presentando menor amplitud el grupo EMG en las tres derivaciones (Fz, Cz y Pz). También se observaron variaciones entre sesiones más estas correspondieron a ambos grupos, presentando mayor potencia en la evaluación Post10 (intermedia) que en las otras dos para las derivaciones Fz y Cz.
CPT	No se observó ninguna diferencia significativa en ninguna de las derivaciones analizadas (Fz, Cz y Pz).

Condición	Beta1
NR/ Reposo & BR/ Reposo	Se observó un incremento en la amplitud pico a pico de esta banda en la condición de neuroretroalimentación en la sesión 20, en la derivación Cz. Se observó un incremento en la potencia relativa de esta banda durante la condición de NR (únicamente para el grupo EEG), en las derivaciones Fz y Cz, siendo esta más pronunciada en la primera. Esta variación se hace significativa hasta la sesión 20 de entrenamiento, en la derivación Fz.
	Beta1 (Pot. Relativa)
Reposo OA	No se observaron diferencias significativas en esta banda, en ninguna derivación, para ningún grupo.
CPT	El ANOVA indicó menor potencia en esta banda para el grupo EEG en la derivación Pz únicamente durante la ejecución de la prueba CPT. Por otra parte se observó mayor potencia en beta1 en el último bloque de la primer evaluación en relación a los demás bloques de ambas evaluaciones.

Capítulo 6: Discusión de resultados

6.1 Control operante de variables fisiológicas

Los resultados demuestran que, bajo la metodología utilizada, los sujetos pueden aprender a controlar parámetros selectivos de su actividad eléctrica cerebral, como lo demuestran estudios previos que utilizan metodologías similares (ver revisiones: i.e. Monderer *et al*, 2002).

Los resultados indican un patrón de aprendizaje distinto para cada variable fisiológica (EEG & EMG), ya que aquellos participantes que aprendieron a controlar los músculos del cráneo (grupo EMG) sostuvieron por periodos más prolongados la condición fisiológica esperada, lo cual se refleja en una mayor cantidad de puntos obtenidos desde la primer sesión que el grupo EEG.

Lo anterior parece indicar que, con el mismo periodo de entrenamiento, es posible alcanzar un mayor nivel de control sobre la actividad eléctrica muscular que sobre la actividad eléctrica cerebral, ya que los datos del grupo EMG muestran un mayor nivel de control de la actividad eléctrica muscular.

Por otra parte, las diferencia en el control de ambas variables fisiológicas (puntos obtenidos por sesión) no resulta extraña ya que el sistema musculoesquelético es uno de los sistemas que más utilizamos dentro de nuestro rango de control consciente y voluntario.

Dentro de las alteraciones que son tratadas mediante técnicas de biorretroalimentación están el Trastorno por Déficit de Atención (TDA) en el que se emplea neuroretroalimentación, y las cefaleas tensionales y migrañosas, que se tratan con

la biorretroalimentación de actividad eléctrica muscular y el control de la temperatura de la mano.

La duración de ambos tratamientos difiere notablemente, mientras que los estudios que sustentan los protocolos y la efectividad de la biorretroalimentación para el tratamiento de las cefaleas reportan aproximadamente 10 sesiones de entrenamiento (ver revisión por Hermann & Blanchard, 2002); los protocolos para el tratamiento del TDA, en su mayoría, son de una duración aproximada de 40 sesiones (ver revisión en Monastra *et al.*, 2005). Esta diferencia en el número de sesiones puede estar relacionada con la curva de aprendizaje de cada variable. Por lo que sería importante estudiar la curva de aprendizaje para ambas variables en un número mayor de sesiones, como el utilizado en el tratamiento para TDA.

6.2 Efecto de la bioretroalimentación sobre las tareas de atención

6.2.1 Atención sostenida (CPTAX)

Uno de los objetivos principales de esta investigación fue evaluar los efectos de la NR en la ejecución de la CPT. A este respecto nos habíamos planteado la hipótesis de que la NR produciría una disminución en el número de errores por comisión y omisión, un menor nivel de decaimiento a lo largo de la prueba y una mejora en los tiempos de reacción.

Los resultados obtenidos confirman parcialmente estas hipótesis, ya que se observa un incremento significativo en el número de aciertos en el grupo EEG después de 20 sesiones de NR en contraste con lo que se presenta en el grupo EMG (ver figura 20). Así mismo, el grupo EEG mostró un decremento en el número de errores de comisión y en el

tiempo de reacción, aunque en estas variables no se alcanzó el nivel de significación estadística.

Diversos estudios aplicando la NR en sujetos con diagnóstico de déficit de atención, han encontrado mejoras en la ejecución de distintas variables de CPT (Lévesque *et al*, 2006; Kropotov *et al*, 2004; Egner & Gruzelier, 2001, etc.). Vernon *et al*, (2003), encuentran resultados similares al aplicar esta técnica a sujetos sanos, aunque el protocolo utilizado para retroalimentar difiere del empleado en este trabajo, en el sentido de que el corte de la banda a incrementar fue de 12-15 Hz (SMR).

Egner y Gruzelier (2004) compararon el efecto de dos protocolos distintos, en uno se entrenó a los sujetos a incrementar SMR (12-15 Hz, C4-A2) y en el otro a incrementar Beta (15-18 Hz, C3-A1); en ambos grupos se les entrenó de manera simultánea a decrementar theta (4-7 Hz), encontrando que en el grupo que recibió la retroalimentación en la banda de SMR, se presentó una reducción significativa en el número de errores de omisión en la ejecución de una prueba Oddball, mientras que en el grupo que recibió la retroalimentación en la banda de Beta se observó una reducción significativa en el tiempo de reacción.

Los autores de ambos estudios atribuyen la disminución en el número de errores de omisión al control adquirido en la banda de SMR, ya que argumentan que el incremento en esta banda reduce la interferencia motora, lo cual parece facilitar el procesamiento atencional.

En el protocolo utilizado en este estudio se entrenó a los participantes a incrementar la actividad beta1, cuyo rango de corte fue de 13-18 Hz, el cual prácticamente incluye el rango SMR, lo cual podría estar relacionado con la similitud de resultados entre el presente estudio y los anteriormente mencionados.

6.2.2 Atención enfocada – dividida (Stroop)

Otro de los objetivos fue evaluar los efectos de la neuroretroalimentación en el tiempo de ejecución de la prueba Stroop (atención dividida/enfocada). En relación a este objetivo se planteó la hipótesis de que se observaría menor tiempo de ejecución para esta prueba en el grupo EEG, mientras que en el grupo EMG no se presentarían o, en el caso presentarse, la esta variación sería menor.

A diferencia de los resultados de la prueba CPT no se presentaron diferencias significativas que apoyen esta hipótesis. Los resultados apuntan hacia una reducción del tiempo de ejecución en ambos grupos, sin embargo, se registró una tendencia a presentar menor tiempo de ejecución en la prueba de denominar color únicamente en el grupo EEG, lo cual puede estar indicando cierto efecto del tratamiento sobre procesos de atención enfocada.

Los recursos atencionales requeridos para la ejecución de la prueba Stroop difieren de aquellos utilizados durante la ejecución de la CPT. En la primera, la evidencia experimental parece indicar la activación de la corteza frontal y se sugiere una mayor participación del sistema de atención anterior (West & Bell, 1997), seleccionando determinadas cualidades del estímulo e inhibiendo otras. La evidencia experimental sugiere que parte del efecto Stroop está relacionado con una capacidad limitada de procesamiento de información (Roberts & Besner, 2005), por lo que estímulos simultáneos que evoquen respuestas divergentes, de manera simultánea dentro de un dominio, generarán interferencia en la respuesta final, con la tendencia a facilitarse la respuesta de mayor automaticidad. Nuestros resultados se ajustan a esa interpretación ya que se observaron diferencias significativas en la duración de cada tarea.

El ANOVA no reveló diferencias significativas que indiquen un efecto del tratamiento, lo que parece indicar que el sustrato neurológico asociado a esta prueba es diferente y menos sensible al tratamiento, que el requerido para la prueba CPT.

6.3 Efecto de la biorretroalimentación sobre la actividad eléctrica cerebral

Para cumplir con este objetivo se propuso evaluar las variaciones en la potencia relativa de la actividad eléctrica cerebral en distintas condiciones (Reposo con ojos abiertos, NR o BR y durante la ejecución de la prueba CPT) y regiones cerebrales.

6.3.1 Cambios electrofisiológicos durante la biorretroalimentación (EEG y EMG)

Para cumplir con este objetivo se analizaron los cambios en la potencia relativa de las bandas de theta y beta durante la BR. Al respecto hipotetizamos que se observaría un decremento de la banda de theta y un incremento en la banda de beta1 durante la BR únicamente en el grupo EEG. En el análisis estadístico se reveló un incremento significativo en la potencia relativa de beta1 en las regiones Fz y Cz, durante la BR únicamente para el grupo EEG. Por otra parte, no se observaron variaciones significativas durante la NR para la banda de theta, lo que nos indica que el incremento progresivo de puntos /sesión, es decir que el control que mostraron los participantes del grupo EEG fue únicamente en función a la actividad beta1 y no a la actividad theta, por otra parte, las variaciones en esta banda se observaron en más derivaciones que aquella utilizada para la NR (Fz), lo que indica que nuestras hipótesis fueron parcialmente comprobadas.

El incremento mostrado en la banda de beta1 se observó de forma más intensa en la derivación Fz respecto a las otras dos derivaciones, lo que pudiera estar relacionado con el gradiente para la banda de beta en general >13 Hz, ya que esta banda muestra su mayor amplitud en las regiones frontales (Hughes, 1994; Misulis & Head, 2003), así el control de dicha actividad al parecer respetó este gradiente natural.

Medicamentos utilizados para reducir los síntomas en pacientes con Trastorno por Déficit de Atención, como el metilfenidato, han sido asociados a un incremento en el nivel de alerta de los pacientes ya que estos medicamentos parecen incrementar la liberación de catecolaminas de neuronas cuyos cuerpos celulares se localizan en el tallo cerebral (Clarke, *et al*; 2003), mostrando incrementos principalmente en la potencia absoluta de beta en las regiones frontales, principalmente en el hemisferio derecho, y en menor grado reducción, de la actividad theta en regiones occipitales y parieto-occipitales (Ho *et al*, 2005).

Otra hipótesis asociada a este objetivo planteó que *los cambios serían progresivos a lo largo del tratamiento*. Por una parte, la adquisición en el control de las variables se presentó de forma progresiva, como lo comprueban los análisis estadístico (puntos obtenidos X sesiones), por otra parte, los registros de actividad eléctrica cerebral muestran para la derivación Fz, un incremento significativo hasta la sesión 20, por lo que al menos de forma parcial se comprueba esta hipótesis.

Lo anterior nos muestra que las variaciones en la potencia relativa durante la neuroretroalimentación se dieron únicamente en la banda de beta1 y no en la banda de theta. Al menos no se vieron variaciones en esta banda que pudieran ser asociadas al tratamiento, lo que nos indica que las regiones cerebrales implicadas en el ritmo theta, como los son el complejo septo – hipocámpico y la corteza del cíngulo tuvieron menor participación o no generaron cambios como producto del tratamiento.

La banda de Beta (<13 Hz), es considerada por diversos autores como un indicador del nivel de activación (i.e. Wrobél, 2000; Projesz *et al*, 2002), y debido a que tiene su origen en el tallo cerebral, su actividad se encuentra relacionada con el sistema reticular activador ascendente, lo que nos indica que el correlato psicológico del control de la actividad en esta banda pudiese estar relacionado con el control del estado de vigilia de los sujetos, lo cual tiene sentido en términos de los resultados conductuales ya que el efecto del entrenamiento se observó de forma significativa únicamente en la prueba CPT y dicha prueba es sensible a variaciones en el estado de vigilancia (Bearden, 2004).

6.3.2 *Cambios electrofisiológicos en estado de reposo (Ojos abiertos)*

Para evaluar cambios en la potencia relativa en la condición de reposo, se analizó dicha actividad en las sesiones de Pre - tratamiento, Post10 y Post20.

Los resultados no indicaron cambios significativos en la potencia relativa de la banda de beta1 en ninguna de las derivaciones analizadas, por lo que la hipótesis que habíamos planteado al respecto no fue comprobada.

Ho *et al* (2003), encontraron que la administración de metilfenidato a pacientes con Trastorno por Déficit de Atención (TDA) no produjo cambios electroencefalográficos en la condición de reposo, sin embargo, se observaron incrementos de la actividad beta en las regiones frontales y decrementos en la actividad theta en regiones occipitales y parieto-occipitales durante la ejecución de la tarea CPT, así como cambios en la ejecución de pruebas de atención (TOVA).

Contrario a lo esperado, se presentó un incremento en la potencia de theta en la evaluación Post10 en ambos grupos en las derivaciones Fz y Cz. Una posible explicación de este efecto estaría relacionada con las condiciones en que fueron evaluados los sujetos, ya

que en el registro Post10 no se realizaron pruebas conductuales. Únicamente se obtuvieron muestras del EEG en reposo, con ojos abiertos y cerrados, y durante la retroalimentación. Dado que los sujetos conocían de antemano la metodología a seguir, puede suponerse que en la evaluación Post10 se encontraban más relajados que en las evaluaciones Pre y Post20, ya que el hecho de saber que serían expuestos a pruebas de desempeño podía estar generando un efecto de ansiedad anticipatoria.

Existe evidencia experimental que demuestra incrementos significativos generalizados en la banda de theta cuando los sujetos se encuentran relajados o bajo diversas formas de meditación. Incrementos en la potencia de esta banda son un indicativo de estados de relajación (Dunn *et al.*, 1999), mientras que la presencia de ondas theta en la región centrofrontal de la línea media depende del nivel de ansiedad reportado y se relacionan con disminución del ritmo cardíaco (Kubota *et al.*, 2001).

En este estudio encontramos un incremento de theta en ambos grupos, por lo proponemos que esta actividad no está relacionada con el tratamiento sino con el estado emocional del sujeto. Dado lo anterior los resultados parecen indicar que la NR no produce cambios electroencefalográficos en esta banda en sujetos sanos.

Así, a pesar de que la adquisición en el control de las variables se presenta de forma progresiva como lo comprueban los análisis estadísticos, la ausencia de cambios progresivos en el registro electroencefalográfico indican que nuestra hipótesis al respecto no fue comprobada.

6.4 Actividad eléctrica cerebral durante la prueba de desempeño continuo

Con el objetivo de evaluar los posibles cambios asociados al tratamiento de BR, en la actividad eléctrica cerebral durante la prueba CPT, se obtuvo la resta de la potencia relativa de cada banda (theta y beta1) obtenida en cada uno de los bloques de esta prueba respecto de su propia línea base. En relación a este objetivo las hipótesis planteadas proponían que durante la ejecución de la CPT, el grupo EEG presentaría cambios en la actividad eléctrica cerebral en las bandas utilizadas en las sesiones de NR.

Los resultados del ANOVA no mostraron diferencias significativas en la banda de theta en ninguna de las derivaciones, lo cual coincide con lo observado en el control de esta variable electrofisiológica. Por otra parte, la banda de beta1, en la derivación Pz, mostró cambios significativos en ambos grupos, aunque la diferencia entre ellos se observó de forma distinta. El grupo EMG mostró un incremento en la potencia relativa de esta banda en la evaluación post tratamiento mientras que por otra el grupo EEG mostró un decremento de la misma variable en la misma sesión.

La actividad beta ha sido asociada ampliamente con el incremento en la actividad en la corteza cerebral al realizar tareas con demanda cognitiva (Thompson & Thompson, 2003). Diversos estudios han asociado la actividad beta como el correlato general e indicador principal del nivel de alerta y la atención.

La distribución topográfica de esta banda suele presentar una distribución distinta entre sujetos (Basile *et al.*, 2007). Dicha distribución también difiere de acuerdo al tipo de tarea (Fernández & González, 2001). La distribución regional de esta banda ha sido utilizada para determinar las áreas cerebrales implicadas en la tarea realizada, asociándose incluso a procesos de atención de modalidades sensoriales particulares, argumentando que

el incremento en la actividad beta genera un mayor nivel de excitabilidad, facilitando los procesos a nivel sináptico (Wróbel, 2000).

El efecto diferencial entre grupos indica que el grupo EEG presentó disminución de la actividad beta1 durante la ejecución de la CPT en la evaluación Post tratamiento, lo cual contrasta con las hipótesis que planteamos, sin embargo, la actividad Beta ha sido asociada con esfuerzo cognitivo (Matousek & Petersen, 1982; Steriade *et al.*, 1992), por lo que la menor potencia relativa observada durante la ejecución de la tarea CPT en el grupo EEG pudiera asociarse con una facilitación producto de la NR, requiriendo un menor nivel de excitabilidad cortical para ejecutar la tarea. Este proceso de reducción de la actividad cerebral ha sido observado en procesos de aprendizaje, encontrándose una reducción de la distribución topográfica (Spierer *et al.*, 2007), o un decremento de frecuencias rápidas, asociados a una mayor selectividad neuronal (Amescua, 2006), por lo que la NR podría haber acelerado el proceso de eficientización cortical que se da de forma natural durante procesos de aprendizaje.

Otro dato que corrobora dicha explicación, es el incremento progresivo en la potencia de esta banda durante la CPT en la evaluación de pretratamiento en ambos grupos, indicando posiblemente un incremento progresivo en el esfuerzo requerido para la ejecución. Este efecto ha sido observado con anterioridad por Boksem *et al* (2005), quien aplicó a sujetos sanos una tarea de atención visual y memoria de trabajo durante 3 horas, observando un incremento progresivo general en todas las regiones evaluadas en la banda de beta (12.5-30 Hz) a lo largo de la prueba, interpretándolo como un incremento en el esfuerzo por mantener el alertamiento.

Capítulo 7: Conclusiones y perspectivas

7.1 Conclusiones

El objetivo general de este trabajo fue observar los efectos de la neuroretroalimentación sobre la ejecución de tareas que evalúan distintos procesos de la atención, así como también el efecto que pudiera tener sobre la actividad eléctrica de diversas regiones cerebrales en sujetos sanos.

7.1.1 Resultados principales

- Con los protocolos de entrenamiento utilizados en este estudio, encontramos que los participantes aprendieron a controlar tanto la actividad eléctrica cerebral como la actividad electromiográfica, siendo mayor el control de esta última.
- Los participantes entrenados con el protocolo de neuroretroalimentación presentaron mejoras en la ejecución de la prueba de atención sostenida, pero no se encontraron cambios significativos en la ejecución de la prueba de atención enfocada / dividida.
- Como resultado de la neuroretroalimentación se observó un incremento de la actividad Beta, tanto en la región cerebral que se utilizó en las sesiones de retroalimentación (Cz) como en la derivación (Fz). La region posterior (Pz) no mostraron cambios aún después de 20 sesiones de neuroretroalimentación.
- Por otra parte, analizamos si los cambios producidos durante las sesiones de neuroretroalimentación se manifestaban también en la condición de reposo,

encontrando que en la banda de Beta 1 no se observaron cambios en la actividad eléctrica cerebral, sin embargo, sí se observaron cambios en la banda de Theta.

- También se presentaron variaciones en la actividad eléctrica cerebral durante la prueba de desempeño continuo, como producto de la neuroretroalimentación.

7.1.2 Conclusiones

- Aunque ambos grupos pudieron controlar las variables electrofisiológicas que se emplearon durante las sesiones de retroalimentación, se observó un mayor dominio sobre el control de la actividad electromiográfica. Por otra parte, en el grupo que recibió neuroretroalimentación se presentó control únicamente en el incremento de la banda de Beta 1 y no en el decremento de la banda de Theta.

- Los resultados del presente estudio nos permiten proponer que la neuroretroalimentación tiene efectos benéficos sobre la ejecución de tareas de atención sostenida. Dicho efecto puede ser atribuido al incremento en el nivel de alerta, el cual se ha asociado con un aumento en la potencia en la banda de Beta.

- En este proyecto nos interesó determinar si la neuroretroalimentación produce cambios en otras regiones cerebrales, distintas a aquella utilizada en las sesiones de retroalimentación (Cz). Encontramos que los cambios durante la neuroretroalimentación también se manifestaron en la región frontal de la línea media (Fz) más no en la región parietal (Pz), de modo que el efecto de la neuroretroalimentación, y del cambio en la ejecución conductual, no puede ser atribuido a un incremento generalizado en el nivel de activación cortical.

- Otro de los objetivos fue establecer si los cambios en la actividad eléctrica cerebral, asociados con el protocolo de neuroretroalimentación, pudieran manifestarse en otras condiciones conductuales. Podemos concluir que, en sujetos sanos, la neuroretroalimentación no genera cambios en la actividad eléctrica cerebral en la condición de reposo, sin embargo, con el protocolo utilizado, dicho entrenamiento sí generó cambios durante la ejecución de la tarea de atención sostenida.

- Los resultados indican que las variaciones en la actividad eléctrica cerebral reportadas pueden ser atribuibles al protocolo de neuroretroalimentación, ya que no se produjeron al retroalimentar la actividad electromiográfica.

7.1.3 *Conclusión general*

Los resultados del estudio corroboraron el hecho de que es posible entrenar a sujetos sanos en el control de ciertos parámetros de su actividad eléctrica cerebral. Sin embargo, aunque se pretendió que mediante el entrenamiento se lograra el control de dos variables simultáneas (Theta – Beta), los sujetos tuvieron mayor control sobre el ritmo Beta.

Dado que el control de las variables electroencefalográficas se manifestó principalmente en el control de la banda de Beta, los cambios conductuales producto del tratamiento pueden ser atribuidos al incremento en el nivel de activación de regiones particulares del tallo cerebral, encargadas del mantenimiento del nivel de alerta. Sin embargo, dicha modificación no se presentó de una forma inespecífica, sino únicamente asociados a estados en los que se demanda el mantenimiento de un elevado nivel de alerta, como el que se presenta durante la ejecución de la tarea CPT, sugiriendo un incremento en el nivel de eficiencia de la respuesta a nivel neuronal.

Por otra parte, las variaciones en la actividad eléctrica cerebral, asociadas a la neuroretroalimentación, se presentaron también en otras regiones cerebrales, distintas a la utilizada en las sesiones de retroalimentación. Esto nos permite suponer que los procesos de atención no dependen de una región cerebral en particular, sino de una red neuronal con elementos distribuidos en distintas regiones, que presentan niveles de activación específicos en función de las demandas de la tarea.

Además, la tendencia a presentar un menor tiempo de ejecución en la prueba Stroop en los sujetos entrenados con neuroretroalimentación, explica que, a pesar de que el efecto electrofisiológico observado post tratamiento se observó en la región parietal, la prueba de atención enfocada, que depende en mayor grado de regiones distintas para su ejecución (la corteza frontal y la circunvolución del cíngulo) muestre dicha tendencia a mejorar ya que bajo esta propuesta teórica la afectación de uno de los componentes de la red generará variaciones en la respuesta de otros.

Por lo anterior, podemos concluir que el control de la actividad Beta genera un incremento en el nivel de alerta, facilitando el funcionamiento de algunos nodos del sistema de atención, en particular aquellos relacionados con el mantenimiento del nivel de alerta, permitiendo a los sujetos mejoras en la ejecución de tareas que dependen de dicho sistema.

7.2 Aportaciones del estudio, limitaciones y perspectivas para estudios posteriores

El presente estudio aporta información acerca de los efectos de la neuroretroalimentación sobre la ejecución de tareas de atención y sobre la actividad eléctrica cerebral de distintas regiones cerebrales, contribuyendo al entendimiento de los efectos específicos que se logran mediante el control operante de la banda de Beta. De forma secundaria contribuye a corroborar propuestas teóricas que proponen que los diversos procesos de atención están sustentados por distintos sistemas neuronales con elementos distribuidos en diversas regiones del cerebro.

Después de analizar las posibles limitaciones de este proyecto, se sugiere replicar el estudio utilizando una muestra mayor de sujetos. También se sugiere realizar mapeos cerebrales amplios que permitan identificar las variaciones electroencefalográficas a lo largo de las sesiones de neuroretroalimentación, analizando el cambio que pudiera presentarse en otras bandas electroencefalográficas.

Por otra parte, falta por determinar si los cambios generados por la neuroretroalimentación perduran a lo largo del tiempo, por lo que se sugieren estudios similares en los que se evalué tanto al terminar el tratamiento como en periodos posteriores (i.e. 6 meses o un año).

Dado el poco sustento teórico de esta técnica, se sugiere realizar estudios en los que se establezcan las diferencias entre la aplicación de protocolos en los que se utilice el control de una sola banda electroencefalográfica, en una región cerebral particular, con aquellos en los que se entrene a los participantes en el control simultáneo de varios parámetros electroencefalográficos en una o más regiones cerebrales.

Se sugiere realizar estudios en los que se comparen los efectos en el control de distintos cortes de frecuencia, los cuales podrían ayudar a entender la relación entre cada frecuencia de la actividad eléctrica cerebral y los procesos cognitivos.

Dado que la prueba de desempeño continuo es utilizada comúnmente para observar variaciones electroencefalográficas asociadas a procesos de atención y vigilancia, se sugiere utilizar el diseño aplicado en este estudio, ya que los parámetros utilizados permitieron evaluar las variaciones asociadas con los cambios en el nivel de alerta.

Datos generales

Nombre: _____ **Edad:** _____

Domicilio: _____

Ciudad: _____

Tels: (Casa) _____ (Trabajo) _____ (Cel.) _____

Mail: _____

Estudios y estado socioeconómico:

Disponibilidad de horarios - Días de la semana: _____

Horas: _____

Historia de Desarrollo – Favor de indicar la historia infantil en relación a lo siguiente:

Prenatal y Nacimiento

	<u>SI</u>	<u>NO</u>	<u>Detalles</u>
Estrés prenatal o Daño	___	___	_____
Exposición a drogas o alcohol	___	___	_____
Trauma de nacimiento (i.e. fórceps)	___	___	_____
Anestesia medic. p. Dolor	___	___	_____
Anoxia - (privación de oxígeno)	___	___	_____
Prematuro o tardío	___	___	_____
Problemas médicos post-natales	___	___	_____
Peso al nacer _____			Adoptado (edad) _____ Otros _____

Traumas físicos

	<u>SI</u>	<u>NO</u>	<u>Detalles</u>
Golpes en cráneo (incluyendo menores)	___	___	_____
Coma (perdida de conciencia)	___	___	_____
Accidentes (lista)	___	___	_____
Fiebre alta	___	___	_____
Enfermedad seria	___	___	_____
Cirugía	___	___	_____

Infección del CNS	___	___	_____
Sobredosis de drogas / envenenamiento	___	___	_____
Uso recreacional de drogas	___	___	_____
Anoxia	___	___	_____
Derrame cerebral	___	___	_____
Enfermedades crónicas en la familia	___	___	_____

Lista de síntomas

Por favor indica si el participante y/o miembros de su familia, actual o históricamente han presentado alguno de los siguientes síntomas.

<u>Síntoma</u>	<u>✓ Usuario</u>	<u>✓ familiar</u>	<u>✓ actualmente</u>	<u>Síntoma</u>	<u>✓ Usuario</u>	<u>✓ familiar</u>	<u>✓ actualmente</u>
<u>Deprimido</u>	___	___	___	<u>Tartamudeo</u>	___	___	___
<u>Problemas escolares o laborales</u>	___	___	___	<u>Palpitaciones cardiacas</u>	___	___	___
<u>Impulsividad</u>	___	___	___	<u>Alcoholismo</u>	___	___	___
<u>Hyperactividad</u>	___	___	___	<u>Drog.</u>	___	___	___
<u>Problemas de atención</u>	___	___	___	<u>Sentimientos de pánico</u>	___	___	___
<u>Problemas conductuales</u>	___	___	___	<u>Temblores</u>	___	___	___
<u>Ataque tonico-clonicas</u>	___	___	___	<u>Pensamientos suicidas</u>	___	___	___
<u>Ausencias</u>	___	___	___	<u>Otros:</u>	_____		
<u>Epilepsia</u>	___	___	___		_____		
<u>Dolor crónico</u>	___	___	___				
<u>Golpes en la cabeza</u>	___	___	___				
<u>Adicciones</u>	___	___	___				
<u>Fatiga cronica/FMS</u>	___	___	___				

Comentarios / notas: _____

Anexo 2: Resultados de las pruebas conductuales

Resultados de la prueba de atención CPT-AX

Tablas A 1.1 y A 1.2: Promedios, desviación estándar y error estándar de ambos grupos (EEG-EMG), de las variables aciertos y errores de comisión de la prueba de desempeño continuo (CPTAX)

Aciertos										
	Grupo EEG					Grupo EMG				
	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
Pre Media	85.00	74.25	69.38	74.00	61.88	90.88	80.00	81.50	73.38	68.63
Post Media	98.50	95.38	92.13	90.25	86.38	88.88	84.88	82.50	79.88	68.25
Pre desv. Est.	16.97	16.68	19.29	16.54	16.13	15.37	13.88	13.53	12.99	19.35
Post desv. Est.	25.66	25.01	27.23	23.39	29.04	20.80	19.85	20.13	16.41	19.51
Pre error Est.	6.00	5.90	6.82	5.85	5.70	5.43	4.91	4.79	4.59	6.84
Post error Est.	9.07	8.84	9.63	8.27	10.27	7.35	7.02	7.12	5.80	6.90

Errores de comisión										
	Grupo EEG					Grupo EMG				
	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
Pre Media	10.50	22.50	28.50	35.13	47.38	8.50	16.25	22.75	27.50	32.88
Post Media	8.88	14.50	18.75	25.13	28.25	12.50	19.00	22.63	30.50	40.38
Pre desv. Est.	10.16	21.12	30.63	33.11	37.32	1.31	8.89	12.31	16.39	15.94
Post desv. Est.	7.30	10.24	13.59	19.29	18.55	6.39	10.42	12.59	21.40	18.05
Pre error Est.	3.59	7.47	10.83	11.71	13.20	0.46	3.14	4.35	5.79	5.64
Post error Est.	2.58	3.62	4.81	6.82	6.56	2.26	3.68	4.45	7.57	6.38

Tabla A 1.3: Promedio, desviación estándar y error estándar de ambos grupos (EEG-EMG), de la variable tiempo de reacción (en milisegundos) de la prueba de desempeño continuo (CPTAX).

Tiempo de reacción										
	Grupo EEG					Grupo EMG				
	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5	Bloque 1	Bloque 2	Bloque 3	Bloque 4	Bloque 5
Pre Media	361.58	390.87	403.35	403.10	308.93	387.34	381.89	375.06	358.83	325.78
Post Media	331.68	342.80	351.27	332.10	316.68	360.05	357.88	371.25	363.88	314.79
Pre desv. Est.	48.56	83.41	76.55	95.43	46.12	58.50	50.32	61.01	67.21	43.36
Post desv. Est.	34.02	60.69	69.23	66.73	50.74	63.59	84.36	87.89	69.81	53.13
Pre error Est.	17.17	29.49	27.06	33.74	16.31	20.68	17.79	21.57	23.76	15.33
Post error Est.	12.03	21.46	24.48	23.59	17.94	22.48	29.83	31.07	24.68	18.79

Tabla A 2: Promedio, desviación estándar y error estándar de ambos grupos (EEG-EMG), de los tiempos de ejecución de cada una de las tarjetas de la prueba Stroop

Prueba Stroop										
	Grupo EEG					Grupo EMG				
	Denominar palabra			Denominar color		Denominar palabra			Denominar color	
	Negro	Colores	Congruente	Barras	Palabras	Negro	Colores	Congruente	Barras	Palabras
Pre Media	38.46	39.76	71.88	62.38	105.49	42.03	43.34	73.93	72.11	113.46
Post Media	37.36	40.89	70.16	57.45	93.60	42.08	43.19	72.70	67.13	114.13
Pre desv. Est.	7.47	9.64	7.38	7.11	9.53	7.70	9.01	16.88	18.66	26.25
Post desv. Est.	6.65	11.43	14.14	7.53	11.44	6.56	8.04	17.81	12.88	22.93
Pre error Est.	2.64	3.41	2.61	2.51	3.37	2.72	3.19	5.97	6.60	9.28
Post error Est.	2.35	4.04	5.00	2.66	4.04	2.32	2.84	6.30	4.55	8.11

Anexo 3: Amplitud pico (BR & Reposo) y potencia relativa en reposo.

Tabla A 3: Promedios, desviación estándar y error estándar de ambos grupos (EEG-EMG), de la amplitud pico en microvolts de las bandas de theta y beta en las condiciones de reposo con ojos abiertos (Rep.) y biorretroalimentación (BR).

	Theta Cz (μV)						Beta1 Cz (μV)					
	Grupo EEG			Grupo EMG			Grupo EEG			Grupo EMG		
	Sesión1	Sesión 11	Sesión 20	Sesión1	Sesión11	Sesión20	Sesión1	Sesión 11	Sesión 20	Sesión1	Sesión11	Sesión20
Rep.	7.11	7.69	7.75	7.70	8.09	7.94	4.03	4.19	4.10	4.53	4.61	5.25
BR	7.79	7.93	7.62	8.10	8.77	8.56	4.00	4.51	4.61	4.54	4.71	4.83
Rep. desv e.	1.09	1.78	1.26	2.05	2.38	2.48	0.77	0.82	0.58	1.62	2.07	2.86
BR desv e.	1.25	1.34	0.93	2.38	2.55	2.51	0.80	0.66	0.69	1.35	2.06	2.21
Rep. error e.	0.39	0.63	0.44	0.73	0.84	0.88	0.27	0.29	0.21	0.57	0.73	1.01
BR error e.	0.44	0.48	0.33	0.84	0.90	0.89	0.28	0.23	0.24	0.48	0.73	0.78

Tabla A 4: Promedios, desviación estándar y error estándar de ambos grupos (EEG-EMG), de la potencia relativa de la condición de reposo antes del entrenamiento (Pre), después de 10 sesiones de entrenamiento (Post10) y al terminar el mismo (Post20).

Grupo		Fz			Cz			Pz		
		PRE	POST10	POST20	PRE	POST10	POST20	PRE	POST10	POST20
EEG	Media	26.07	28.19	23.77	26.61	30.00	25.42	20.84	23.47	20.16
EMG	Media	21.29	23.22	22.20	19.86	20.09	21.66	15.20	13.41	15.47
EEG	Desv. Est	4.71	4.33	4.51	4.70	4.12	4.04	4.18	4.02	4.72
EMG	Desv. Est	4.25	1.82	2.89	5.26	4.47	5.25	5.86	4.73	5.91
EEG	Error Est.	1.67	1.53	1.60	1.66	1.46	1.43	1.48	1.42	1.67
EMG	Error Est.	1.50	0.64	1.02	1.86	1.58	1.86	2.07	1.67	2.09

Anexo 4: Potencia relativa (biorretroalimentación & reposo con ojos abiertos)

Tablas A 2.1 y A 1.2: Promedios, desviación estándar y error estándar de ambos grupos (EEG-EMG), de la potencia relativa de la condición de y biorretroalimentación (BR) de las sesiones de entrenamiento 11 y 20.

	Theta potencia relativa					
	Grupo EEG			Grupo EMG		
	Fz	Cz	Pz	Fz	Cz	Pz
Reposo S11 Media	27.89	30.00	22.92	23.21	20.09	15.19
BR S11 Media	25.76	25.47	19.99	26.23	21.82	16.91
Reposo S20 Media	22.65	25.12	19.72	23.12	21.85	17.00
BR S20 Media	26.13	25.50	19.09	23.33	21.69	17.56
Reposo S11 desv. Est.	4.09	4.12	4.04	2.06	4.47	4.82
BR S11 desv. Est.	4.60	4.81	5.77	7.94	6.07	6.30
Reposo S20 desv. Est.	5.08	4.79	6.02	2.85	4.64	5.30
BR S20 desv. Est.	4.64	4.48	3.92	4.93	5.22	6.08
Reposo S11 error Est.	1.45	1.46	1.43	0.73	1.58	1.70
BR S11 error Est.	1.63	1.70	2.04	2.81	2.15	2.23
Reposo S20 error Est.	1.80	1.69	2.13	1.01	1.64	1.87
BR S20 error Est.	1.64	1.58	1.39	1.74	1.85	2.15

Tabla A 2.2: Promedios, desviación estándar y error estándar de ambos grupos (EEG-EMG), de la potencia relativa de la condición de reposo con ojos abiertos y biorretroalimentación (BR) de las sesiones de entrenamiento 11 y 20.

	Beta1 Potencia relativa					
	Grupo EEG			Grupo EMG		
	Fz	Cz	Pz	Fz	Cz	Pz
Reposo S11 Media	8.37	7.39	9.11	6.87	6.36	7.09
BF S11 Media	9.36	8.52	9.50	7.09	6.38	6.72
Reposo S20 Media	7.96	7.11	9.26	7.61	6.93	7.11
BF S20 Media	10.77	9.66	10.91	7.19	6.79	7.48
Reposo S11 desv. Est.	1.43	1.90	2.61	1.23	1.41	1.91
BF S11 desv. Est.	3.07	3.02	3.78	0.99	0.79	1.74
Reposo S20 desv. Est.	2.15	1.85	3.44	1.74	1.96	1.98
BF S20 desv. Est.	3.91	2.95	3.81	1.61	1.59	2.58
Reposo S11 erro Est.	0.51	0.67	0.92	0.43	0.50	0.68
BF S11 error Est.	1.08	1.07	1.34	0.35	0.28	0.61
Reposo S20 error Est.	0.76	0.66	1.22	0.62	0.69	0.70
BF S20 error Est.	1.38	1.04	1.35	0.57	0.56	0.91

Anexo 5: Actividad eléctrica cerebral durante la ejecución de la CPT.

Tabla A 5.1: Promedios, desviación estándar y error estándar de la resta del registro de actividad eléctrica cerebral (potencia relativa) en cada bloque de la prueba de ejecución continua (CPTAX) de su línea base con ojos abiertos, de ambos grupos (EEG-EMG), en la banda de theta.

		Theta CPT									
		Grupo EEG					Grupo EMG				
		Bloque1	Bloque2	Bloque 3	Bloque4	Bloque5	Bloque1	Bloque2	Bloque3	Bloque4	Bloque5
Fz	Pre media	-1.84	3.85	0.55	0.55	0.12	6.13	8.59	6.05	7.25	7.27
	Post media	7.56	2.80	3.32	-0.38	-1.02	4.26	5.33	5.43	8.24	1.77
	Pre desv. Est.	7.33	4.99	4.81	5.75	7.79	5.73	8.15	6.74	6.97	5.94
	Post desv. Est.	6.26	4.85	3.59	6.74	7.23	3.23	4.98	5.52	15.49	4.96
	Pre error Est.	2.59	1.76	1.70	2.03	2.76	2.03	2.88	2.38	2.47	2.10
	Post error Est.	2.21	1.72	1.27	2.38	2.56	1.14	1.76	1.95	5.48	1.75
Cz	Pre media	-1.59	3.61	-1.66	-1.84	0.10	4.72	6.07	2.75	3.15	4.09
	Post media	4.01	0.96	1.36	-2.02	-1.92	4.15	5.26	3.31	6.14	0.09
	Pre desv. Est.	6.07	5.73	4.05	5.17	12.11	3.63	5.11	2.81	3.39	5.34
	Post desv. Est.	7.48	4.63	4.37	5.18	6.91	2.52	2.75	3.77	7.86	5.15
	Pre error Est.	2.15	2.02	1.43	1.83	4.28	1.28	1.81	0.99	1.20	1.89
	Post error Est.	2.64	1.64	1.54	1.83	2.44	0.89	0.97	1.33	2.78	1.82
Pz	Pre media	0.66	3.50	0.35	-0.51	0.70	2.30	4.28	2.83	3.26	2.34
	Post media	5.55	2.86	3.76	0.16	-0.42	4.80	6.05	4.87	3.86	2.71
	Pre desv. Est.	5.11	4.47	5.17	3.10	6.68	4.52	5.83	5.58	3.82	3.21
	Post desv. Est.	7.10	4.45	3.03	4.68	4.64	6.03	3.38	4.17	5.57	5.55
	Pre error Est.	1.81	1.58	1.83	1.10	2.36	1.60	2.06	1.97	1.35	1.13
	Post error Est.	2.51	1.57	1.07	1.65	1.64	2.13	1.19	1.47	1.97	1.96

Tabla A 5.2: Promedios, desviación estándar y error estándar de la resta del registro de actividad eléctrica cerebral (potencia relativa) en cada bloque de la prueba de ejecución continua (CPTAX) del registro en reposo con ojos abiertos, de ambos grupos (EEG-EMG), en la banda de beta.

		Beta1 CPT									
		Grupo EEG					Grupo EMG				
		Bloque1	Bloque2	Bloque 3	Bloque4	Bloque5	Bloque1	Bloque2	Bloque3	Bloque4	Bloque5
Fz	Pre media	-0.45	-1.45	-0.64	-0.03	1.38	-0.84	0.08	0.98	-0.67	0.79
	Post media	-1.69	-2.93	-2.32	-2.22	-1.85	1.34	1.57	0.63	1.00	0.52
	Pre desv. Est.	2.64	2.98	3.49	2.38	3.91	1.11	3.28	3.80	1.32	2.54
	Post desv. Est.	3.12	3.22	2.67	2.28	2.72	2.17	3.82	3.28	1.79	1.66
	Pre error Est.	0.93	1.05	1.23	0.84	1.38	0.39	1.16	1.34	0.46	0.90
	Post error Est.	1.10	1.14	0.95	0.81	0.96	0.77	1.35	1.16	0.63	0.59
Cz	Pre media	-1.31	-1.66	-0.53	-0.59	1.43	-2.05	-0.07	-0.77	-1.17	0.37
	Post media	-1.92	-3.12	-2.65	-2.80	-1.64	-0.21	0.20	-1.11	-0.06	-0.75
	Pre desv. Est.	2.47	2.37	2.95	3.11	4.31	1.70	2.60	2.51	1.66	3.04
	Post desv. Est.	2.23	2.62	1.93	2.02	2.19	1.49	2.30	1.69	1.65	2.06
	Pre media	0.87	0.84	1.04	1.10	1.52	0.60	0.92	0.89	0.59	1.07
	Post error Est.	0.79	0.93	0.68	0.71	0.77	0.53	0.81	0.60	0.58	0.73
Pz	Pre media	-1.43	-1.20	-0.56	-0.55	2.26	-1.73	0.24	-1.06	-0.66	0.40
	Post media	-2.01	-3.28	-3.29	-3.42	-2.14	0.93	0.59	-0.29	0.59	0.97
	Pre desv. Est.	2.27	2.35	2.43	3.76	5.40	2.49	3.53	2.65	2.46	3.38
	Post desv. Est.	3.50	4.37	2.87	3.72	4.05	2.52	2.61	2.01	1.07	1.84
	Pre error Est.	0.80	0.83	0.86	1.33	1.91	0.88	1.25	0.94	0.87	1.20
	Post error Est.	1.24	1.54	1.02	1.31	1.43	0.89	0.92	0.71	0.38	0.65