

03040 7



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

CENTRO DE NEUROBIOLOGIA

RELACION ENTRE EL EEG PREVIO A LA PRESENTACION  
DEL ESTIMULO Y LA EJECUCION DE UNA TAREA DE  
MEMORIA DE TRABAJO VERBAL EN NIÑOS CON  
PROBLEMAS DE APRENDIZAJE

287570

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**MAESTRA EN CIENCIAS (NEUROBIOLOGIA)**  
**P R E S E N T A :**  
**ALEJANDRA ROSALES LAGARDE**

ASESORA: DRA. THALIA HARMONY BAILLET

DICIEMBRE DEL 2000



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

RELACION ENTRE EL EEG PREVIO A LA PRESENTACION DEL ESTIMULO Y  
LA EJECUCION DE UNA TAREA DE MEMORIA DE TRABAJO VERBAL  
EN NIÑOS CON PROBLEMAS EN EL APRENDIZAJE

ALEJANDRA ROSALES LAGARDE

Tesis que presenta como requisito para obtener el  
grado de Maestra en Ciencias (Neurobiología)  
CENTRO DE NEUROBIOLOGÍA  
*Campus Juriquilla, Querétaro.*  
Diciembre del año 2000.



# CENTRO DE NEUROBIOLOGIA

CAMPUS UNAM - UAQ JURIQUELLA  
APDO. POSTAL 1-1141  
QUERETARO, QRO. 76001

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

*Los miembros del Comité Tutorial certificamos que la tesis elaborada por Alejandra Rosales Lagarde, cuyo título es "Relación entre el EEG previo a la presentación del estímulo y la ejecución de una tarea de memoria de trabajo verbal en niños con problemas de aprendizaje" se presenta como uno de los requisitos para obtener el grado de Maestría en Ciencias (Neurobiología) y cumple con los criterios de originalidad y calidad requeridos por la División de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México.*

Firma

Presidente Dr. José Luis Díaz Gómez  
Secretario Dra. Thalía Harmony Baillet  
Vocal Dra. María Consi Cabrera  
Suplente Dr. Roberto Agustín Prado Alcalá  
Suplente Dra. Gloria Otero Ojeda

\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_

*Aprobado por el Comité Académico*

\_\_\_\_\_  
Coordinador del Programa  
Dr. Raúl Paredes Guerrero

*Juriquilla, Qro. a 6 de diciembre de 2000*

<b>RESUMEN</b>	iii
<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 SIGNIFICADO FUNCIONAL DEL EEG.....	1
1.2 EL EEG EN REPOSO DE LOS NIÑOS CON PROBLEMAS DE APRENDIZAJE.....	3
1.3 RELACIONES ENTRE EL EEG PREVIO AL ESTÍMULO Y LA EJECUCIÓN.....	6
1.4 LA MEMORIA DE TRABAJO Y LAS DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE.....	13
<b>II. OBJETIVO</b>	15
<b>III. HIPÓTESIS</b>	15
<b>IV. MÉTODO</b>	
4.1 SUJETOS.....	16
4.2 TAREA.....	16
4.3 CONDICIÓN EXPERIMENTAL.....	18
4.4 REGISTRO, EDICIÓN Y ANÁLISIS DEL EEG.....	18
4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	20
<b>V. RESULTADOS</b>	
5.1 CONDUCTUALES.....	22
5.2 ELECTROFISIOLÓGICOS.....	23
<b>VI. DISCUSIÓN</b>	25
<b>VII. CONCLUSIONES</b>	31
<b>VIII. APÉNDICE</b>	32
<b>IX. REFERENCIAS</b>	36

## RESUMEN

La presencia o ausencia de oscilaciones específicas en el segmento del electroencefalograma (EEG) previo a la presentación del estímulo cuando la respuesta es correcta y cuando es incorrecta puede permitir conocer qué procesos están afectados cuando la respuesta es incorrecta. Cuando los niños con problemas de aprendizaje realizan una tarea de memoria de trabajo, la respuesta es correcta si el EEG previo a la presentación del estímulo presenta una mayor potencia en frecuencias específicas correspondientes a las bandas theta y alfa y una menor potencia en frecuencias correspondientes a beta y delta. La mayor intensidad en la banda theta se observó en las derivaciones de la línea media. Este tipo de actividad se ha relacionado con la atención, porque aumenta cuando se incrementa la dificultad de la tarea. Estos resultados sugieren que los niños con problemas de aprendizaje requieren de un gran esfuerzo de atención para responder correctamente. Las frecuencias altas de la banda alfa se han relacionado con procesos de memoria. Dado que la menor potencia en esas frecuencias en los segmentos previos a la presentación del estímulo asociada a respuestas incorrectas se observó en regiones frontales y temporales izquierdas, se plantea que existe una falla en el circuito fonológico de la memoria de trabajo. La mayor potencia en frecuencias de la banda delta en regiones frontales previa a las respuestas incorrectas sugiere que en el momento de presentar el estímulo a memorizar existía una actividad inhibitoria a los estímulos del medio ambiente que impedía su procesamiento.

## **ABSTRACT**

The presence or absence of specific oscillations in the electroencephalogram (EEG) second previous to the stimulus in correct or incorrect responses allows a better understanding of which processes are altered when the performance is incorrect. When learning disabled children perform a working memory task, Absolute Power (AP) was higher before correct responses in particular frequencies of the alpha (10.14, 10.92, 12.48 Hz) and theta (3.9, 4.68, 5.46, 6.24 Hz) bands than before incorrect responses. In contrast, in the EEG before incorrect responses AP in beta (14.04 Hz) and delta (2.34 Hz) frequencies was higher. Higher power in theta was observed in midline areas. This kind of activity has been related to attention because it increases as the difficulty of the task grows. These results suggest that learning disabled children require a bigger effort to respond correctly. Higher power in alpha before correct answers was found in higher frequencies than in a previous study in normal children. The highest frequencies in this band have been associated to memory processes. As lower power in this study before incorrect responses was found in left frontal and temporal leads, it is proposed that it exists a failure in the phonological loop of the working memory system when the answer is incorrect. Higher power in correct answers in contrast to incorrect responses in delta frequencies in frontal areas before the stimulus suggests that at the moment of presentation of the stimulus to memorize, an inhibitory activity to environmental stimulus prevented its processing.

*Es necesario resaltar que por razones burocráticas la Dra. Thalía Fernández Harmony no pudo figurar como la tutora oficial de esta tesis. Aquí doy fe de su tutoría y la agradezco.*

*Dedico esta tesis a mis padres,*

*Miguel y Laura,*

*a Harim*

*y a las madres, padres, niños y maestros  
de Juriquilla y Rancho Largo*

*Gracias a la Dra. Thalía Harmony Baillet por su gran ejemplo y a los compañeros del laboratorio: Dr. Fernández Bouzas, Maritza Rivera, Juan Silva, Roberto Ortega y César Cadena.*

*La compañía de mis amigas Isa, Esperanza, Liliana y Erika hizo mucho más placentera y fácil mi estancia en Querétaro.  
Fue una época de trabajo y diversión.*

*Las pláticas sobre las lecturas filosóficas y neurobiológicas con Daniel y Efraín, y las políticas con Paco y Nacho hicieron mucho más interesante la estancia.*

*Además agradezco el apoyo de Rosa, siempre en el laboratorio y espero también en las luchas sindicales justas.*

*Doy constancia de los apoyos recibidos por la DGEP de la UNAM y el CONACYT para financiar mi mantenimiento durante dos años de posgrado.*



## I. INTRODUCCION

### 1.1 SIGNIFICADO FUNCIONAL DEL EEG

En los años recientes, diversos autores han coincidido en asignar a la actividad oscilatoria un significado funcional (Lopes da Silva, 1991a, 1991b; Gray y cols., 1991; Basar y cols., 2000). Según Lopes da Silva (1991a), una célula puede oscilar a distintas frecuencias dependiendo de las condiciones iniciales del potencial de membrana. La célula talamocortical oscila a 10 Hz cuando el estado inicial del potencial de membrana está relativamente más depolarizado que en el estado de reposo y a 6 Hz cuando está más hiperpolarizado. Los husos de sueño son característicos de la transición vigilia-sueño y son generados por una red neuronal que incluye a las células talamocorticales. Lopes da Silva (1991a) considera que los husos de sueño juegan un papel funcional en esa transición. Durante la presencia de los husos se impide el relevo de estímulos sensoriales a la corteza y las neuronas talamocorticales están hiperpolarizadas. Para este investigador "la actividad del EEG caracterizada por husos de sueño corresponde a un estado funcional donde los núcleos talámicos específicos y la corteza están privados de los estímulos sensoriales. De esta forma, la actividad oscilatoria característica del estado donde los husos ocurren puede tener una 'función de compuerta' en lo que concierne al flujo de información específica del tálamo a la corteza. También se la ha asignado una 'función de compuerta' a la actividad rítmica lenta (RSA o ritmo theta) de la corteza límbica en lo que respecta a la transmisión de señales a través de la vía entorrinal-hipocámpica".

Lopes da Silva (ibid.) sugirió que tal vez la forma más adecuada para llevar a cabo un cambio en el estado de una red neuronal sea por medio de la transición de una actividad azarosa a una oscilatoria. En otro de sus trabajos (Lopes da Silva, 1991b) propuso que la actividad rítmica lenta cumple otros dos propósitos además del de compuerta: 1) facilita la

transmisión de información entre el hipocampo y estructuras como el núcleo accumbens; y 2) la estimulación a la frecuencia de RSA puede inducir una potenciación a largo plazo, facilitando la formación de asociaciones significativas entre series distintas de señales entre subáreas de la corteza límbica. Para Lopes da Silva (1991b), el estudio de la actividad lenta theta de la corteza límbica y de los husos de sueño permite inferir que la oscilación en las redes neuronales puede no ser simplemente un subproducto de la actividad de las redes neuronales, sino que puede tener, por sí misma, un significado funcional.

Gray y cols. (1991) hicieron registros en la corteza visual y encontraron respuestas sincrónicas en gatos en el rango de 40 a 60 Hz usando análisis de correlación cruzada y autocorrelación tanto en una columna funcional como en varias columnas. Propusieron que mediante esas sincronizaciones se llevaba a cabo la integración de los diferentes rasgos que componen un estímulo coherente.

Gevins y cols. (1997) consideraron que los cambios en el espectro del EEG están relacionados con cambios en el estado de las redes funcionales que subyacen a la ejecución de la tarea.

Fernández y cols. (1995) y Harmony y cols. (2000) describieron que ante distintas tareas se observaron aumentos o decrementos significativos en la potencia absoluta (PA) en determinadas frecuencias o bandas de frecuencia en sitios relacionados con cada una de las tareas y que las frecuencias en determinadas áreas subyacen a redes neuronales asociadas a procesos cognitivos específicos. Citando textualmente a Harmony y cols. (2000): "las frecuencias del EEG expresan procesos fisiológicos específicos que subyacen a procesos cognitivos particulares asociados a la activación de redes neuronales complejas". Autores como Basar y cols. (2000) apoyan la hipótesis de que las respuestas oscilatorias a eventos en alfa, beta, delta y theta medidas en el cuero cabelludo están fuertemente entretejidas con funciones cognitivas y sensoriales. Para estos autores, los sistemas

oscilatorios de esas frecuencias actúan como redes de comunicación que se ponen en resonancia a través de grandes poblaciones de neuronas.

El hecho de que las diferentes frecuencias del EEG tengan un significado funcional permite inferir que la presencia de oscilaciones a determinadas frecuencias en una condición particular pueda ser interpretada en cuanto a las funciones que reviste. Por lo tanto, la presencia o ausencia de oscilaciones con frecuencias características sugiere el proceso en donde se encuentra el fallo si la respuesta es incorrecta. Por esta razón es importante estudiar las características del EEG previo a la presentación del estímulo cuando la respuesta es correcta y cuando es incorrecta en niños con trastornos de aprendizaje, pues permitirá conocer qué procesos están afectados cuando responden incorrectamente.

## 1.2 EL EEG EN REPOSO DE LOS NIÑOS CON PROBLEMAS DE APRENDIZAJE

Diversos autores han encontrado que los niños con problemas en el aprendizaje presentan mucho más frecuentemente actividad anormal en el EEG que los niños con un adecuado desempeño académico.

Tanto en niños con dificultades específicas en el aprendizaje y un coeficiente intelectual (CI) normal, como en niños con dificultades de aprendizaje en una o más áreas y con un CI limítrofe, Ahn y cols. (1980) encontraron un exceso de ondas lentas en las áreas parietooccipitales en relación a los valores de las ecuaciones normativas de desarrollo descritas por John (1980).

Harmony y cols. (1990a) sugirieron que los niños con problemas menores y severos en el aprendizaje pueden presentar una falla en la maduración, reflejada por valores de potencia del espectro del EEG que no concuerdan con lo esperado para su edad. En el grupo con dificultades menores en el aprendizaje encontraron mayor PA y potencia relativa (PR) theta y menor PR alfa en ambos casos en forma difusa en comparación con el grupo sin dificultades en el aprendizaje. Los niños con mayores dificultades en el

aprendizaje tuvieron disfunciones en las regiones frontotemporales izquierdas, ya que además de presentar valores similares que los de los niños con menores dificultades en las bandas arriba descritas, tuvieron una mayor PA y PR delta en comparación con el grupo control. Alvarez y cols. (1992) corroboraron estos resultados al describir que los EEGs cuantitativos de los niños con problemas en el aprendizaje tenían una mayor cantidad de PA delta y theta que los de los niños normales.

Sin embargo, se ha observado una mejoría en el desempeño escolar y en el EEG de ambos tipos de niños después de unos años. En un estudio longitudinal, Harmony y cols. (1995) no encontraron diferencias entre los grupos de dificultades menores y graves en el aprendizaje y los niños controles en la segunda sesión, por lo que sugirieron que se da un salto en la maduración entre los 9 y los 12 años, debido tal vez a influencias hormonales.

Becker y cols. (1987) mediante inspección visual, encontraron que 24.6% de los niños con problemas de aprendizaje, un CI normal y un nivel socioeconómico bajo tuvieron anomalías del EEG. En contraste, el porcentaje de los niños con anomalías y un buen rendimiento escolar fue de un 3.3%. Analizando visualmente el EEG, Alvarez y cols. (1992) también describieron en la condición de reposo con ojos cerrados mayor frecuencia de actividad paroxística en niños con problemas de aprendizaje que en los niños normales (65.8% en contraste con un 18.9%).

Incluso se han reportado diferencias entre niños con un CI normal y sin problemas de aprendizaje pero con distintos niveles socioeconómicos y distintos niveles de riesgo de daño cerebral. Harmony y cols. (1988), usando un registro bipolar, observaron diferencias entre aquellos niños que poseían adecuadas condiciones socioeconómicas y no tenían antecedentes biológicos de riesgo y los niños que tenían desventajas socioeconómicas y antecedentes biológicos de riesgo. En los niños con desventajas socioeconómicas (con bajo ingreso y/o madre analfabeta), o no se observó

correlación de las PR en las bandas delta, theta y alfa con la edad o en las ecuaciones de regresión lineal de la PR theta con respecto a su edad presentaron pendientes menores, lo que Harmony y cols. (1988) interpretaron como una maduración lenta del EEG. En otra muestra pero usando un registro monopolar, Harmony y cols. (1990b) encontraron que las potencias absolutas de las bandas delta, theta y beta eran mayores en las regiones frontales y temporales derechas en niños con un nivel socioeconómico bajo en comparación con niños con un nivel socioeconómico medio o alto. Además, en los niños con menor nivel socioeconómico hallaron mayores valores de PR delta en las regiones occipitales y temporales y menores valores de PR alfa en regiones frontales izquierdas, temporales bilaterales y occipitales y parietales derechas. Los niños con antecedentes biológicos de riesgo (op. cit.) tuvieron valores de PA mayores en todas las bandas sobre todo en regiones frontales, temporales y centrales del hemisferio derecho en contraste con los niños sin antecedentes biológicos de riesgo.

Los autores interpretaron los resultados como una falta de maduración en el funcionamiento del sistema nervioso tanto en los niños con antecedentes biológicos de riesgo de daño cerebral como en los niños con desventajas socioeconómicas.

En otro estudio, Harmony y cols. (1992) realizaron un EEG en condición de reposo con ojos cerrados y en una sesión independiente aplicaron dos tareas a niños con un CI normal y un adecuado desempeño académico pero con antecedentes de riesgo y bajo nivel socioeconómico. Hallaron que la actividad electroencefalográfica lenta, predominante en los niños con problemas de aprendizaje, estaba asociada con la mala ejecución en ambas tareas. En la prueba de atención selectiva encontraron una correlación positiva entre la PA de las bandas delta y theta y el número de respuestas incorrectas. También encontraron correlaciones positivas cuando era más difícil la tarea entre la PR delta y theta y el número de respuestas incorrectas.

En la prueba de memoria se describieron tiempos de reacción (TR) más largos correlacionados con una mayor PR delta y theta, y una menor PR alfa, siendo las correlaciones altamente significativas en las áreas frontales.

Los resultados mencionados indican claramente una relación entre las distintas frecuencias del EEG de base y la ejecución de distintas tareas, lo que conllevó a un estudio que explorara directamente esta relación. A continuación se revisarán los resultados obtenidos en los trabajos en los que se ha estudiado esta relación entre el EEG y la ejecución.

### 1.3 RELACIONES ENTRE EL EEG PREVIO AL ESTIMULO Y LA EJECUCION

En general se entiende como "ejecución" a la forma en que responde el sujeto, es decir, si responde lenta o rápidamente, correcta o incorrectamente. Son escasos los experimentos que exploran la relación entre el segmento de EEG previo al estímulo que desencadena la tarea y la ejecución. Frecuentemente se ha estudiado la relación entre el TR y las características del EEG después de presentado el estímulo, durante la ejecución de la tarea, tanto en sujetos con un adecuado nivel de alertamiento (Ray y Cole, 1985; Gevins y cols., 1997) como en sujetos privados de sueño o en horas de sueño (Corsi Cabrera y cols., 1996; Smulders y cols., 1997). Otros autores aplicaron tareas en donde se presentaban estímulos con gran frecuencia e intervalo constante, por lo que tomaron segmentos del EEG durante toda la tarea (Makeig e Inlow, 1993; Valentino y cols., 1993).

Hay pocas investigaciones que exploran la ejecución de los niños con problemas de aprendizaje en referencia a su EEG. Aarts y cols. (1984) observaron, tanto en niños como en adultos, que cuando los individuos presentaban descargas epileptiformes en el EEG de tipo espiga y espigonda durante la realización de una tarea, su ejecución era incorrecta, incluso aunque no presentaran manifestaciones clínicas evidentes de epilepsia. A la manifestación fisiológica ligada estrechamente a la manifestación conductual,

Aarts y cols. (.ibid.) la llamaron "Trastorno Cognoscitivo Intermitente" (o "Transitory Cognitive Impairment", TCI). Para estos autores el TCI no es necesariamente la consecuencia de una alteración general de la atención, sino una alteración de procesos psicológicos específicos debidos a descargas epileptiformes localizadas en la región o regiones cerebrales que participan en tales procesos.

Alvarez y cols. (1992) encontraron TCI en 6 de 18 niños con problemas en el aprendizaje, la mitad diagnosticados con epilepsia y la mitad sin ella, pero con paroxismos en el EEG. Uno de los niños sin epilepsia presentó descargas de ondas lentas y los otros dos descargas de espigas, mientras que los otros 3 niños epilépticos mostraron descargas de espiga-onda lenta.

El único trabajo en niños que relaciona el EEG basal previo al estímulo con el tipo de respuesta (correcta o incorrecta) es el de Fernández y cols. (1998). Estos autores analizaron la relación entre la ejecución de varias tareas y el EEG que precedía al estímulo en una muestra de niños normales. Encontraron que las respuestas correctas estaban precedidas de mayor actividad en frecuencias de la banda alfa (7.8 a 12.5 Hz) que las respuestas incorrectas. La localización de las diferencias en el EEG previas al estímulo entre respuestas correctas e incorrectas dependía de la tarea y se encontraba precisamente en aquellas regiones cerebrales que debían activarse durante la realización de esa tarea específica según estudios neuropsicológicos, de tomografía por emisión de positrones (PET) y de resonancia magnética funcional (RMF). En la tarea de memoria de trabajo verbal, Fernández y cols. (ibid.) hallaron que en el segmento previo a la presentación del estímulo la potencia del EEG en 8.58, 9.36, 18.72 y 19.50 Hz era menor si precedía a las respuestas incorrectas que si precedía a las respuestas correctas. Las potencias menores asociadas a respuestas incorrectas en esas frecuencias se hallaron principalmente en áreas frontales izquierdas, correspondientes a la localización, según otros estudios, del circuito articulatorio de la memoria de trabajo. Además encontraron una

menor actividad en alfa previa a respuestas incorrectas en las regiones relacionadas a otras dos tareas: en áreas temporales posteriores en la tarea de atención visual sostenida y en el hemisferio izquierdo en la tarea de categorización semántica de palabras. En la tarea de atención visual, Fernández y cols. (ibid.) observaron también que las respuestas incorrectas se caracterizaban por mayor potencia a 1.56 y a 3.12 Hz en regiones frontales.

El hecho de que la menor actividad alfa asociada a respuestas incorrectas estuviera localizada en las áreas cerebrales que participan específicamente en los procesos de cada una de las tres tareas aplicadas, sugiere que los errores no estuvieron relacionados con somnolencia, la cual se caracteriza por una disminución difusa de la actividad alfa. Además, los resultados conductuales no mostraron diferencias entre el TR de las respuestas correctas y el TR de las incorrectas, lo cual indica que no hay razones para suponer que las respuestas incorrectas se hayan debido a una disminución en el alertamiento.

Ante las contadas investigaciones disponibles sobre el EEG previo al estímulo en niños, se hará referencia a los estudios en adultos. En los primeros estudios se utilizaron pruebas de detección de estímulos blanco en un radar, de discriminación de tonos o de estímulos luminosos. Se registraba el EEG con pocos electrodos y por lo tanto en pocas regiones. Además, el EEG se analizaba visualmente (ver Williams y cols., 1962; Morrell, 1966).

Williams y cols. (1962) analizaron 3 segmentos de EEG de 1 segundo previos al estímulo y 3 segundos posteriores al estímulo. El predictor más confiable del TR fue la frecuencia del EEG del segundo previo al estímulo. Williams y cols. (ibid.), Townsend y Johnson (1979) y Belyavin y Wright (1987) sólo encuentran relaciones consistentes entre la frecuencia del EEG y la ejecución cuando el nivel de alertamiento fluctúa entre el sueño y la vigilia. Williams y cols. (ibid.) y Townsend y Johnson (1979) manipularon el nivel de alertamiento de los sujetos privándolos de sueño y Belyavin y Wright (1987)



pusieron a los sujetos a realizar la tarea en horas de sueño, modificaciones que se reflejaron en el EEG y en la ejecución de los sujetos. Morrell (1966) y Boddy (1971) encontraron relaciones entre la frecuencia del EEG y la ejecución en tareas largas y monótonas sin realizar ninguna de las maniobras anteriores.

Los resultados sobre la predicción basada en la frecuencia del EEG registrado en el segundo previo al estímulo y la ejecución difieren en estos estudios, pero en general se presentan las siguientes coincidencias: la presencia de ondas lentas o el aumento de la potencia en frecuencias bajas están relacionados con un mayor número de omisiones o TR más largos (Beatty y cols., 1974; Morrell, 1966; Williams y cols., 1962); una disminución de la potencia en las frecuencias rápidas está relacionada con más omisiones o mayores TR (Belyavin y Wright, 1987; Townsend y Johnson, 1979). Algunos de los autores observan que menores TR están asociados a la presencia de ondas o mayor actividad en frecuencias de la banda alfa (Boddy, 1971; Morrell, 1966; Ogilvie y cols., 1991; Williams y cols., 1962) o beta (Belyavin y Wright, 1987; Townsend y Johnson, 1979).

Williams y cols. (op. cit.) contaron el número de ondas del segundo previo a las omisiones y encontraron en sujetos privados de sueño una alta correlación negativa entre el TR y las frecuencias del EEG cuando sus respectivas distribuciones eran bimodales. Para Williams y cols., la frecuencia de 9 Hz estaba asociada a las respuestas correctas, mientras que la frecuencia de 6 Hz lo estaba a los errores de omisión.

Morrell (1966) observó fluctuaciones en la eficiencia asociadas a cambios en la frecuencia del EEG en sujetos no privados de sueño en tareas largas y monótonas sin interrupciones. Los sujetos debían mantener sus ojos cerrados y detectar estímulos luminosos. Observó una mayor proporción de ondas alfa previas al estímulo relacionadas a TR más rápidos. Morrell consideraba las omisiones como los TR más largos. Encontró asociados los

TR largos y las omisiones con la presencia de ondas lentas en el segundo previo al estímulo. Citando a Morrell: "Es claro que los tiempos de reacción son más rápidos cuando la señal es presentada sobre un fondo de actividad alfa continua (...) y son más lentos cuando se miden sobre un EEG dominado por frecuencias menores de 8 Hz". Con base en sus resultados, propuso que la tarea no debía interrumpirse para observar que existen cambios momentáneos en el alertamiento y no un declive lineal.

Boddy (1971), al igual que Morrell, encontró correlaciones significativas entre los tiempos de reacción promedio a estímulos auditivos y la presencia de frecuencias en el rango alfa.

Townsend y Johnson (1979) fueron los primeros en intentar encontrar relaciones entre la ejecución y la frecuencia usando el análisis espectral. Ellos encontraron, al igual que Williams y cols. (1962), que la predicción de la ejecución podía hacerse sólo si existían cambios en el alertamiento entre la vigilia y el sueño que se reflejaran en la distribución de frecuencias del EEG. Posiblemente no encontraron relaciones en sujetos no privados de sueño entre los TR más largos y la actividad theta porque tomaron segmentos previos al estímulo muy grandes (8 segundos). En cambio, describieron en sujetos privados de sueño una menor actividad beta asociada a mayores TR.

Beatty y cols. (1974) hallaron una relación inversa entre la ejecución de los sujetos y la proporción relativa de theta en uno de los primeros experimentos de retroalimentación. Observaron que el decremento en el alertamiento estaba asociado a un incremento en la proporción de theta en la región occipital. Según Beatty y cols. (ibid.), sólo la abundancia de la actividad theta occipital era un correlato confiable de la conducta de alertamiento. La tasa de theta era igual a la razón entre el número de ondas en la frecuencia de theta y el número total de ondas de 3 a 30 Hertz en un segundo. Primero los sujetos aprendieron a monitorear blancos que aparecían en una pantalla. A continuación los experimentadores dividieron el grupo en dos y a uno le enseñaron a aumentar la tasa relativa de theta y a otro a disminuirla de

acuerdo a una línea base, línea base de esa tasa que se reemplazaba después de determinados segundos. A cada grupo se le reforzaba con un tono si hacía lo requerido. Posteriormente a cada grupo lo subdividieron y, mientras que uno de los subgrupos recibía reforzamiento, el otro no era reforzado. Los experimentadores compararon la tasa de theta con la línea base cada segundo mientras los sujetos monitoreaban la pantalla. El subgrupo que aprendió a disminuir la tasa de theta detectó más blancos en comparación con el subgrupo sin el reforzador, mientras que el subgrupo que aumentó su tasa theta con reforzador detectó un menor número de blancos en comparación con el que no recibió reforzador.

Belyavin y Wright (1987) encontraron una mayor actividad theta y una menor actividad beta 3 segundos antes del estímulo asociadas a una mayor cantidad de omisiones. Realizaron los registros en derivaciones parietales y occipitales en varios momentos del día incluyendo las horas de sueño durante la ejecución de dos tareas (una tarea de discriminación de letras y una de atención visual).

Ogilvie y cols. (1991) aplicaron una tarea de discriminación de tonos durante dos noches y agruparon las potencias de acuerdo a los TR y a las omisiones. Encontraron que los menores tiempos de reacción estaban precedidos por una mayor potencia alfa, mientras que las respuestas más lentas estaban precedidas por una menor potencia alfa y las omisiones por apenas una mayor potencia con respecto al alfa de las respuestas más rápidas.

Puede decirse entonces que aunque el sueño es un factor que influye en la relación entre la ejecución y la frecuencia del EEG tal como lo mencionan Williams y cols., 1962; Townsend y Johnson, 1979; Beatty y cols., 1974; Belyavin y Wright, 1987; y Ogilvie y cols., 1991, también existe una relación entre la ejecución y la frecuencia del EEG durante el estado de vigilia sin que la somnolencia esté involucrada (Boddy, 1971; Morrell, 1966; Ogilvie y cols., 1991). Es decir, aunque las diferencias en el nivel de alertamiento influyen en

la relación entre la ejecución y las frecuencias del EEG, no es necesario que existan esas diferencias para encontrar relaciones entre estas dos variables. Dos evidencias ya mencionadas que confirman esto son: la relación entre los parámetros espectrales del EEG en reposo y la ejecución de dos tareas realizadas en una sesión independiente del registro de EEG (Harmony y cols. 1992), y el hecho de que las respuestas incorrectas estuvieran precedidas por menor actividad en frecuencias de la banda alfa en las regiones que deberían activarse específicamente para la realización de cada tarea (por ejemplo, las regiones frontales en la tarea de memoria de trabajo; el hemisferio izquierdo en la de categorización de palabras) (Fernández y cols., 1998).

Estos últimos resultados que se mencionan fueron obtenidos en niños con un CI normal y sin ningún tipo de trastorno cognitivo. En esta tesis, se plantea estudiar esta misma relación en un grupo de niños con problemas de aprendizaje. La tarea seleccionada fue una tarea de memoria de trabajo verbal ya que se ha postulado que existen deficiencias en la misma en niños con dificultades en la lectura y el aprendizaje, tal como se describirá en el siguiente inciso. La tarea de memoria de trabajo había sido utilizada por Fernández y cols. (op. cit.) en el estudio de niños normales, lo que permite la comparación entre los resultados obtenidos en esta tesis y los obtenidos previamente en niños normales. La tarea consiste en la presentación de varios dígitos que el niño debe memorizar, y después de 2 segundos se le presenta el estímulo prueba, que es un dígito al cual debe contestar apretando un botón, indicando que se encontraba en el conjunto a memorizar o apretando otro botón si no se encontraba en el conjunto a memorizar.

#### 1.4 LA MEMORIA DE TRABAJO Y LAS DIFICULTADES EN EL APRENDIZAJE

Cuando se habla de problemas de aprendizaje de la población escolar a nivel primaria, en general se hace referencia a los problemas de aprendizaje de la lectura. En la lectura, la memoria de trabajo es entendida como un sistema de capacidad limitada en el cual se procesan y almacenan operaciones simbólicas y se generan productos intermedios y finales (Just y Carpenter, 1992). El grupo de Just y Carpenter ha demostrado que la capacidad de la memoria de trabajo para el lenguaje tiene una relación directa con las diferencias individuales en la comprensión de la lectura en sujetos adultos jóvenes. Este grupo encontró una alta correlación entre la capacidad de la memoria de trabajo y la comprensión de la lectura, medida por pruebas estandarizadas. Según Dixon y cols. (1988) y Swanson y cols. (1994), los niños con deficiencias en la lectura presentan una menor capacidad de la memoria de trabajo que los niños normales. Estos autores sugieren que las deficiencias en los problemas de la lectura se deben a esa baja capacidad en la memoria de trabajo.

Baddeley (1999) propuso que la memoria de trabajo estuviera conformada por tres subsistemas. El "ejecutivo central" es el supervisor que dirige la atención y coordina las actividades de dos componentes esclavos: uno verbal y el otro visuo-espacial. El componente verbal o circuito fonológico está dividido en dos partes: un almacén fonológico y un circuito articulatorio. Al presentar una serie de dígitos visualmente, éstos son transformados a un código fonológico y almacenados temporalmente. Como en el almacén las huellas decaen rápidamente (1 ó 2 segundos), la repetición subvocal actualiza continuamente este almacén (Baddeley, 1999).

El modelo de la memoria de trabajo se ha fortalecido con los resultados obtenidos empleando PET y RMF. Las operaciones de la memoria de trabajo verbal parecen ser ejecutadas por una serie de redes neuronales distribuidas, ya que Buckner y Tulving (1995) han observado la activación

de la corteza prefrontal y el cíngulo anterior, mientras que Petrides y cols. (1993) refieren que se activan las áreas 46 y 9 de Brodmann correspondientes a la circunvolución frontal media dorsolateral. Paulesu y cols. (1993) y Jonides y Smith (1997) han localizado el almacén fonológico en el lóbulo parietal inferior izquierdo y el circuito articulatorio en el área de Broca, corteza premotora y corteza suplementaria motora izquierdas.

## II. OBJETIVO

Estudiar en niños con problemas de aprendizaje si existen diferencias entre las potencias de las diferentes frecuencias del EEG previo al conjunto de dígitos a memorizar cuando las respuestas son correctas y cuando son incorrectas. Se pretenden encontrar estas diferencias en las regiones cerebrales relacionadas a la tarea sin que sean debidas a diferencias en los niveles de alertamiento. Para ello se analizan los tiempos de reacción y el número de respuestas correctas e incorrectas (sin contar las omisiones) de manera similar al análisis realizado por Fernández y cols. (1998).

## III. HIPÓTESIS

### *Hipótesis no. 1*

La actividad electroencefalográfica previa a la presentación del estímulo cuando la respuesta es incorrecta tendrá una menor potencia en las frecuencias de la banda alfa que la actividad electroencefalográfica previa a la presentación del estímulo cuando la respuesta es correcta. Esto deberá suceder sin intervención de la somnolencia.

### *Hipótesis no. 2*

Las diferencias entre la actividad electroencefalográfica previa a las respuestas correctas e incorrectas se observarán en las regiones cerebrales que participan en la realización de la tarea.

## II. OBJETIVO

Estudiar en niños con problemas de aprendizaje si existen diferencias entre las potencias de las diferentes frecuencias del EEG previo al conjunto de dígitos a memorizar cuando las respuestas son correctas y cuando son incorrectas. Se pretenden encontrar estas diferencias en las regiones cerebrales relacionadas a la tarea sin que sean debidas a diferencias en los niveles de alertamiento. Para ello se analizan los tiempos de reacción y el número de respuestas correctas e incorrectas (sin contar las omisiones) de manera similar al análisis realizado por Fernández y cols. (1998).

## III. HIPÓTESIS

### *Hipótesis no. 1*

La actividad electroencefalográfica previa a la presentación del estímulo cuando la respuesta es incorrecta tendrá una menor potencia en las frecuencias de la banda alfa que la actividad electroencefalográfica previa a la presentación del estímulo cuando la respuesta es correcta. Esto deberá suceder sin intervención de la somnolencia.

### *Hipótesis no. 2*

Las diferencias entre la actividad electroencefalográfica previa a las respuestas correctas e incorrectas se observarán en las regiones cerebrales que participan en la realización de la tarea.



## IV. MÉTODO

### 4.1 SUJETOS

Se estudiaron 26 niños de los cuales 16 tenían entre 8 y 11 años de edad y eran diestros. Los 16 niños habían reprobado una o dos veces el primero y/o segundo grado de primaria. En una entrevista se preguntó sobre los antecedentes de riesgo perinatal que pudieran explicar daño neurológico, y sobre el nivel socioeconómico, haciéndose especial hincapié en el nivel de escolaridad de la madre y en el ingreso per cápita de la familia. Se descartó, mediante una entrevista a los padres, que los problemas emocionales pudieran explicar las dificultades en el aprendizaje. Todos ellos tuvieron un examen neurológico normal. Se aplicó el WISC-R para descartar retraso mental y se registró el EEG en condición de reposo con ojos cerrados durante 5 minutos.

En la prueba de memoria de trabajo verbal sólo 8 niños (2 niñas y 6 niños) de los 16 tuvieron el número mínimo de respuestas correctas necesario para asegurar, con un nivel de confianza del 95%, que no estuvieran respondiendo al azar. El número mínimo de respuestas correctas para garantizarlo se calculó mediante una distribución binomial como " $np+2 [ np(1-p)^{1/2} ]$ " donde  $n$  es el número de respuestas del sujeto y  $p=1/2$ . Este cálculo se hizo para cada sujeto porque el número de respuestas fue variable, por lo que se describirán sólo los resultados de los 8 niños.

### 4.2 TAREA

Se empleó la tarea de Sternberg (1966) modificada por Harmony y cols. (1996). Se impusieron dos niveles de dificultad ya que se presentaron 3 ó 5 dígitos simultáneos separados por un espacio. Además, la aplicación se automatizó con el uso de una computadora porque de esta forma es más rápida y sencilla la presentación y evaluación de la tarea. Sternberg (1966)

observó que cuando los sujetos decidían si un símbolo de prueba estaba o no contenido en una secuencia corta de símbolos presentados anteriormente, el tiempo de reacción promedio aumentaba linealmente con la longitud de la secuencia, y era el mismo para las respuestas SI (estaba en la secuencia presentada anteriormente) y NO (no estaba). Esta tarea tal cual fue modificada se describe a continuación. Durante 300 ms se presentó en el centro del monitor de una computadora una cruz como estímulo de aviso para indicar al sujeto que debía permanecer en reposo, sin moverse y atento a la presentación del "estímulo contexto" que ocurriría 2 segundos después (figura 1). El estímulo contexto consistió en un conjunto de 3 ó 5 dígitos obtenidos aleatoriamente en un muestreo independiente presentado durante 1500 ms en un arreglo horizontal. El niño debía memorizar estos dígitos, pues 2 segundos después aparecería el estímulo prueba durante 300 ms. El estímulo prueba era un dígito aleatorio que podía o no estar incluido en el conjunto. El 50% de los dígitos prueba estaba incluido en el estímulo contexto y el 50% no estaba incluido en el estímulo contexto; cuando pertenecía al conjunto, el dígito prueba fue obtenido aleatoriamente entre los 3 ó los 5 dígitos elegidos anteriormente del estímulo contexto. El niño debía responder si el dígito prueba estaba incluido en el estímulo contexto presionando el botón izquierdo del "mouse" o el derecho si no lo estaba. Es decir, la tarea era de tipo "go-go", esto es, el sujeto debía responder de cierta forma al estímulo "blanco" y de otra forma al estímulo "no blanco". Se balanceó el uso de la mano, es decir, el 50% de los sujetos presionaron los botones como se ha indicado; el otro 50% los presionó en forma inversa.

El sujeto tenía 3000 ms para responder. Si no respondía en ese tiempo cometía una omisión. En esta tesis se considerarán como respuestas incorrectas las falsas alarmas, es decir, aquellas respuestas en que los niños respondían que el dígito estaba incluido en el conjunto cuando no lo estaba y viceversa. Un tono agudo de un órgano fue usado por el experimentador para indicarle al niño que la respuesta era correcta y un tono grave para indicar que era incorrecta.

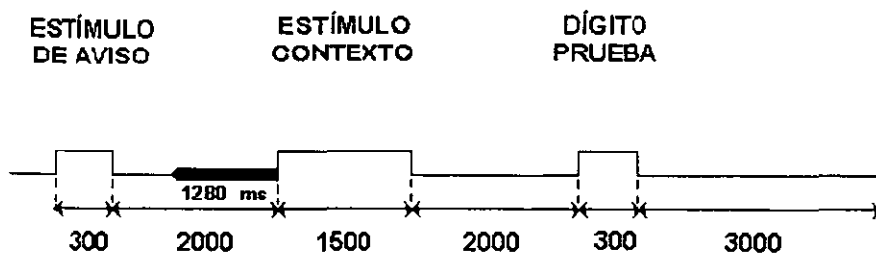


Fig. 1. El segmento del EEG de 1280 ms previo al estímulo contexto ha sido resaltado en esta gráfica. Abajo se muestran las duraciones en ms.

#### 4.3 CONDICIÓN EXPERIMENTAL

Se entrenó a los niños en la prueba de memoria y se corrigió su desempeño hasta observar que tuvieran el mayor número posible de respuestas correctas (ya que posteriormente se analizaría quienes pertenecerían a la muestra). El experimento se llevó a cabo en una sesión de aproximadamente 30 minutos que se interrumpía cuando el experimentador observaba que el niño respondía con más de 3 respuestas incorrectas (falsas alarmas) u omisiones seguidas o cuando se observaban muchos artefactos en el registro. Se sabe que la presencia del experimentador y el notificar inmediatamente sobre la eficacia de la ejecución son dos factores que previenen la caída de la atención hasta por 2 horas gracias a su carácter motivacional (Macworth, 1950, citado en Broadbent, 1983).

#### 4.4 REGISTRO, EDICION Y ANALISIS DEL EEG

El equipo empleado fue un MEDICID 03E que contiene un programa de registro, edición y análisis del EEG llamado Track Walker. Este equipo está conectado a una computadora de estimulación que tiene un programa llamado Mind Tracer mediante el cual se presentaban los estímulos. Se

hicieron registros referenciales del EEG en 19 derivaciones: Fp1, Fp2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, O1, O2, F7, F8, T3, T4, T5, T6, Fz, Cz y Pz, usando los lóbulos de las orejas cortocircuitados como referencia.

Como se dijo en la introducción, Williams y cols. (1962) y diversos autores observaron que el predictor más confiable de la ejecución era el segundo de EEG previo al estímulo, por lo que se tomaron segmentos de 1280 ms inmediatamente previos a la presentación del estímulo contexto (véase figura 1). Esta cantidad se eligió porque para facilitar el análisis de Fourier se requiere que el número de puntos muestreados sea una potencia de base 2 y al ser 256 los puntos muestreados ( $256 = 2^8$ ) y dado que el período muestral fue de 5 ms, el segmento de EEG resultó ser de 1280 ms.

Se obtuvieron al menos 8 segmentos sin artefactos y sin actividad paroxística previos al estímulo contexto cuando la respuesta fue correcta y 8 segmentos cuando la respuesta fue incorrecta. Se reunieron los segmentos previos al estímulo contexto de 3 y 5 dígitos porque al considerarlos por separado no se tenían suficientes segmentos para hacer el análisis. El comparar en un grupo de sujetos las características del EEG teniendo como variable independiente a la ejecución disminuye el error respecto a otro tipo de comparaciones, como por ejemplo considerar a 2 grupos de individuos (buenos y malos ejecutores), ya que cada sujeto es su propio control.

Por medio del análisis de Fourier se realizó el análisis de banda estrecha, calculándose las potencias cada 0.78 Hz (el inverso de 1.28 segundos) hasta llegar a 18.72 Hz (24 frecuencias, por convención) en ambas condiciones por separado: las potencias previas a la presentación del estímulo cuando la respuesta fue correcta y las potencias previas a la presentación del estímulo cuando la respuesta fue incorrecta. Se obtuvo la potencia absoluta para cada frecuencia y derivación para el montaje referencial.

## 4.5 ANALISIS ESTADISTICO

### I. Del tiempo de reacción.

Para la comparación de las variables conductuales se empleó el paquete estadístico "SAS" en la versión de 1993. Se calculó la mediana de los TR para las respuestas correctas y las incorrectas en cada sujeto. Posteriormente se hizo una t apareada para analizar las diferencias entre el TR para las respuestas correctas y el TR para las respuestas incorrectas.

Se comparó el tiempo de reacción de los primeros 50 estímulos (incluyendo correctas e incorrectas) con el TR de los últimos 50 estímulos por medio de una t apareada.

Además, se estimó el porcentaje de respuestas correctas para compararlo con el porcentaje de respuestas correctas reportado en el estudio previo de niños normales.

### II. Electroencefalográfico

Se comparó la potencia del EEG cuando éste precedía a las respuestas correctas y cuando precedía a las respuestas incorrectas utilizando el Método Multivariado no Paramétrico de Permutaciones (Galán y cols., 1997). Este método parte de la hipótesis nula de que las potencias de los segmentos previos a las respuestas correctas y las potencias de los previos a las respuestas incorrectas son iguales por lo que se pueden permutar. Con cada una de las sucesivas permutaciones se construyen distribuciones t que se van comparando con la distribución de los máximos y los mínimos originales. Fernández y cols. (op. cit.) emplearon tanto el análisis de permutaciones como t de observaciones apareadas y encontraron resultados similares en ambos análisis. Sin embargo, el análisis de permutaciones no tiene el inconveniente de "inflar" el error tipo I al hacer múltiples comparaciones y no requiere ni del supuesto de normalidad ni de un tamaño de muestra suficientemente grande. El análisis de permutaciones se realizó

para el montaje referencial en las 19 derivaciones en cada una de las 24 frecuencias.

Con el objetivo de que los valores de PA y PR puedan visualizarse a manera de mapas, existe la posibilidad de que a partir de estos valores se grafiquen mapas con los valores de cada frecuencia en el análisis de banda estrecha, o con los valores de PA y PR en cada banda ancha. Estos mapas se crean interpolando, para toda la superficie del cuero cabelludo, los valores obtenidos en las diferentes derivaciones. Se realizaron mapas de los valores  $t$  de la diferencia de las potencias para cada frecuencia según el análisis multivariado no paramétrico de permutaciones.

## V. RESULTADOS

La media del CI total de los 8 niños, medido por la prueba WISC-R (Wechsler, 1981), fue de 81.125,  $s=5.24$ , correspondiente a la clasificación de "subnormal" (escala verbal: 89.5,  $s=8.01$ ; escala ejecutiva: 75.25,  $s=4.97$ ; la diferencia es estadísticamente significativa,  $p<.003$ ; en todos los niños los puntajes de la escala verbal fueron mayores que los de la escala ejecutiva).

Dos de los niños tuvieron antecedentes biológicos de riesgo (hipoxia al nacer y traumatismo craneo-encefálico con pérdida de conocimiento a los 6 años). Todos niños pertenecían a un status socioeconómico bajo según la descripción de Harmony y cols. (1990b) a excepción de una niña, que pertenecía según la misma clasificación a un status socioeconómico medio. En las familias, a excepción de una, se ganaba en promedio menos de un 25% del salario mínimo mensual per cápita. Además, 2 de las madres eran analfabetas, 4 madres habían realizado estudios de primaria y 2 madres tenían escolaridad de secundaria. El EEG registrado en reposo con ojos cerrados durante 5 minutos mostró que, de los 8 niños, 3 presentaban anomalías electroencefalográficas. Sobre este punto y sobre los resultados generales de los estudios completos de los 26 niños remitidos, véase el apéndice.

### 5.1 CONDUCTUALES

Los resultados de las *t* apareadas para las variables conductuales fueron:

a) no se observaron diferencias significativas entre el TR de las respuestas correctas ( $TR_c=1138 \text{ ms} \pm 229 \text{ ms}$ ) y el TR de las respuestas incorrectas ( $TR_i=1204 \text{ ms} \pm 327 \text{ ms}$ ).

b) no se observaron diferencias significativas entre el TR al inicio (1149.625 ms) y al final del experimento (1119.875 ms).

El promedio de respuestas correctas de los niños con problemas de aprendizaje fue de 69% y el de respuestas incorrectas fue de 22% (el

promedio del porcentaje de omisiones fue de 8%). Los porcentajes de respuestas correctas e incorrectas de cada niño con problemas de aprendizaje fueron los siguientes:

**TABLA NO. 1, porcentaje y media de respuestas correctas e incorrectas de niños con problemas de aprendizaje**

SUJETO	A02	A03	A06	A13	A18	A19	A23	A26
<i>% de respuestas correctas</i> media=69%	66	84.6	69	59	61.5	72	79	62
<i>% de respuestas incorrectas</i> media=22%	17.5	12	24.5	27	26.4	21	17	33.7

## 5.2 ELECTROFISIOLÓGICOS

Como puede verse en la tabla 2, en los segmentos previos al estímulo para las respuestas correctas se observaron mayores potencias en frecuencias que corresponden a la banda theta (3.9, 4.68, 5.46 y 6.24 Hz) en las regiones de la línea media y a la banda alfa (10.14, 10.92 y 12.48 Hz) en las regiones temporal izquierda, frontal media, frontal izquierda y temporooccipital derecha.

Por el contrario, hubo una mayor potencia previa al estímulo asociado a las respuestas incorrectas en la frecuencia de 2.34 Hz que corresponde a la banda de delta en la región frontal derecha y en 14.04 Hz, que pertenece a la banda beta en la región central.



**TABLA NO. 2 Frecuencias y derivaciones en donde se encontraron diferencias significativas entre los valores t de la potencia del segmento que precede a las respuestas correctas y la que precede a las respuestas incorrectas según el método multivariado de permutaciones**

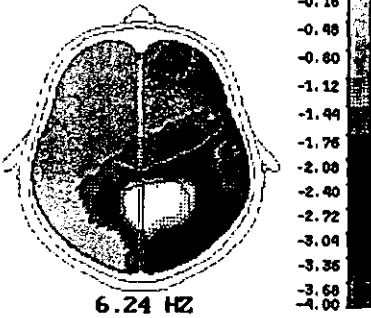
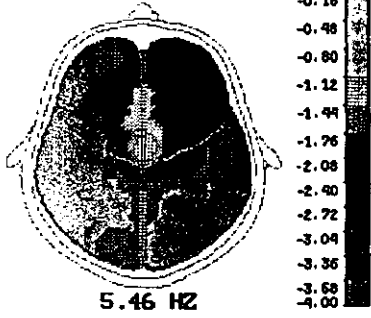
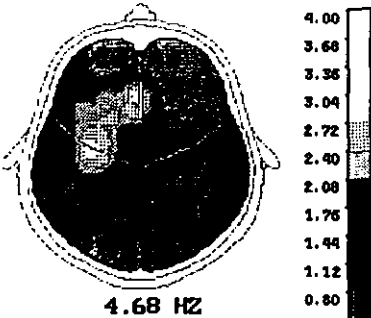
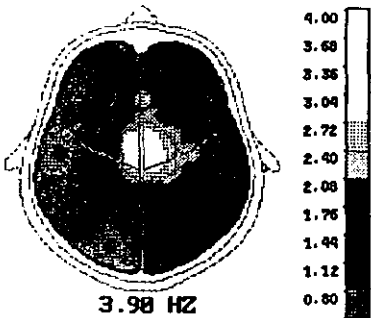
respuestas correctas > respuestas incorrectas

BANDA	FRECUENCIA	DERIVACIÓN	Log PA correctas	Log PA incorrectas	Nivel de p
Theta	3.90 Hz	CZ	3.264±.16	3.164±.18	.0009
"	4.68 Hz	FZ	3.078±.05	3.037±.11	.0009
"	5.46 Hz	CZ	3.189±.20	2.951±.20	.0009
"	6.24 Hz	PZ	3.099±.33	2.934±.29	.0009
Alfa	10.14 Hz	C3	2.892±.18	2.780±.16	.0329
"	10.92 Hz	O2	3.406±.29	3.137±.30	.0129
"	"	T4	2.382±.16	2.189±.15	.0508
"	"	T5	2.805±.48	2.604±.45	.0588
"	"	T6	2.798±.33	2.588±.38	.0129
"	"	FZ	2.672±.25	2.460±.23	.0508
"	12.48 Hz	T3	2.019±.13	1.868±.12	.0409

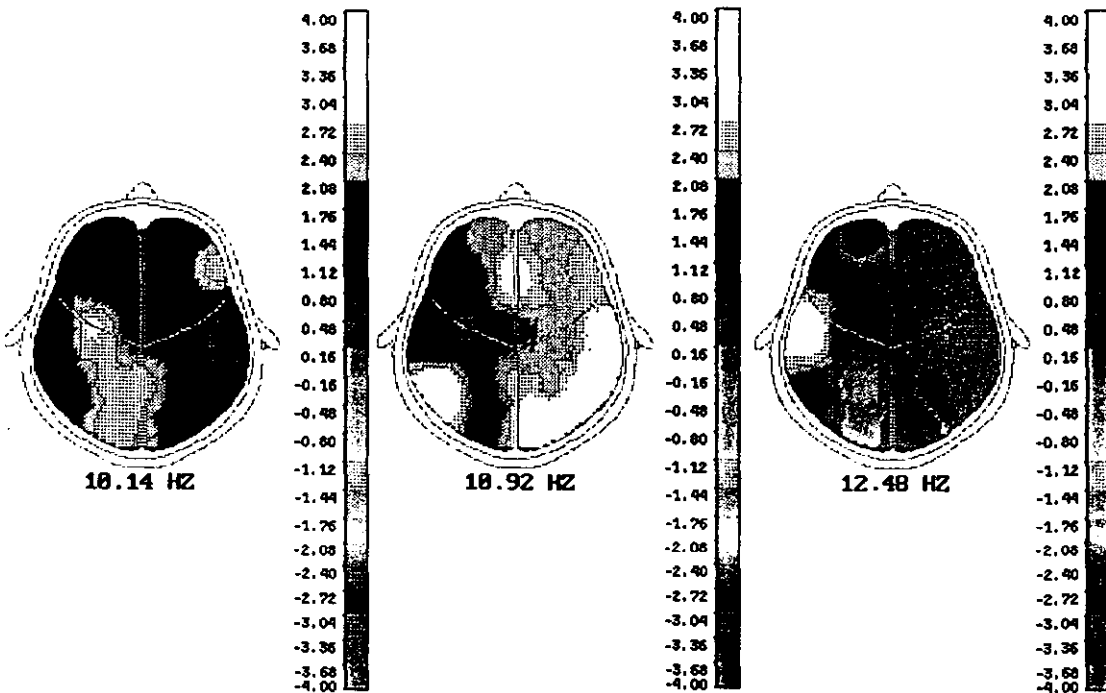
respuestas correctas < respuestas incorrectas

Delta	2.34 Hz	F8	2.689±.18	2.825±.11	.0109
Beta	14.04 Hz	CZ	2.110±.17	2.213±.20	.0009

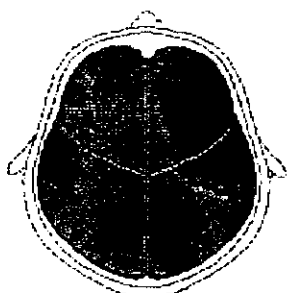
MAPAS DE LOS VALORES DE "t" SIGNIFICATIVOS ( $p < .04$ ) en las frecuencias donde la potencia de las respuestas correctas fue mayor a la de las respuestas incorrectas ( $C > I$ )



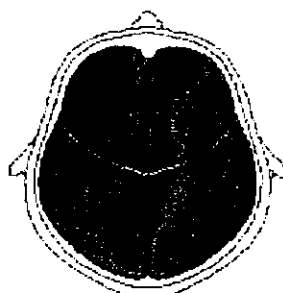
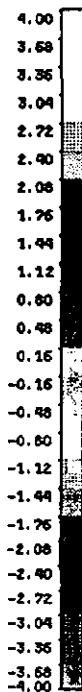
MAPAS DE LOS VALORES DE "t" SIGNIFICATIVOS ( $p < .04$ ) en las frecuencias donde la potencia de las respuestas correctas fue mayor a la de las respuestas incorrectas ( $C > I$ )



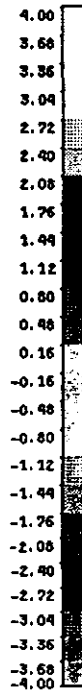
MAPAS DE LOS VALORES DE "t" MAS SIGNIFICATIVOS ( $p < .04$ ) en las frecuencias donde la potencia de las respuestas correctas fue menor que la de las respuestas incorrectas ( $C < I$ )



2.34 HZ



14.84 HZ



## VI. DISCUSIÓN

Son tres las evidencias que indican que la somnolencia no influyó en los resultados obtenidos: 1) El hecho de que el TR al inicio y al final de la sesión fueran similares sugiere que se mantuvo constante el mismo nivel de alertamiento. 2) No se observaron diferencias significativas en las variables conductuales de TR entre las respuestas correctas e incorrectas. Esto sugiere que las respuestas incorrectas no estuvieron asociadas a un menor nivel de alertamiento, al contrario de lo que se reporta en muchos otros trabajos (Beatty y cols., 1974; Belyavin y col., 1987; Townsend y Johnson, 1979; Williams y cols., 1962), quizá debido a que la tarea fue aplicada en forma de video juego para motivar a los niños, al contrario de las otras tareas que eran monótonas o fueron aplicadas en horario de sueño o a individuos privados de sueño. 3) Las diferencias observadas entre las variables del EEG que precede al estímulo cuando las respuestas fueron correctas y cuando fueron incorrectas se observaron en derivaciones específicas, por lo que no pueden adjudicarse a cambios en el nivel de alertamiento, pues estos cambios son generalizados. Por lo tanto, se piensa que las diferencias en las potencias del EEG que precede al estímulo cuando las respuestas son correctas o incorrectas pueden atribuirse a otros factores, que a continuación se describirán.

Gevins y cols. (1997) y Klimesch (1999) distinguen dos tipos de actividad theta, una difusa y otra localizada. Durante la primera se reduce o se bloquea la codificación de la información tal como sucede durante estados hipnagógicos, en el sueño de ondas lentas o en sujetos con demencias preseniles (Gevins y cols., 1997). Ésta parece ser la actividad theta previa al estímulo descrita por Belyavin y Wright (1987), Morrell (1966), Williams y cols. (1962) y Townsend y Johnson (1979), la cual es de predominio occipital y parece indicar somnolencia (estos autores han asociado su aumento o presencia a un mayor TR o a un mayor número de omisiones). Sin embargo, una mayor actividad theta frontal localizada sobre la línea media durante una

tarea está relacionada con un esfuerzo significativo y una mayor atención focalizada (Gevins y cols., 1997; Ishihara y Yoshii, 1972). Gevins y cols. (1997), durante la ejecución de una tarea de memoria de trabajo verbal, distinguieron trenes de ondas theta en regiones correspondientes a la corteza prefrontal medial, cuyos orígenes suponen están en el área de la corteza del cíngulo anterior (áreas 24 y 32 de Brodmann). Gevins y cols. (ibid.) consideran que la actividad theta en la línea media refleja el esfuerzo mental para concentrarse y coordinar los procesos distribuidos necesarios para la ejecución. Según estos autores, esta coordinación podría realizarse por las conexiones recíprocas entre la corteza del cíngulo anterior y regiones dispersas de la corteza frontal. Otro estudio de localización de fuentes usando el EEG y el magnetoencefalograma (MEG) sugiere que la actividad theta de la línea media se origina en el cíngulo anterior (Iramina y cols., 1996). Las frecuencias de disparo de las neuronas de la corteza del cíngulo anterior están asociadas a la ejecución de tareas difíciles y la estimulación de esta área origina frecuencias de 3-8 Hz en la línea media frontal (Heit y cols., 1990, citado en Gevins y cols., ibid). Además se ha observado que la corteza del cíngulo anterior se activa en algunos estudios sobre memoria de trabajo (Buckner y Tulving, 1995) y está asociada al componente motivacional del modelo de atención propuesto por Mesulam (1990). Este componente introduciría, según Mesulam, un sistema de valor durante la atención selectiva del espacio extrapersonal, con lo cual se le daría relevancia al estímulo. La circunvolución del cíngulo anterior se activa según los estudios de PET durante tareas que requieren la selección y el reclutamiento de los centros de procesamiento apropiados para la ejecución de la tarea (Pardo y cols., 1990; Posner y cols., 1988).

En el presente experimento, el estímulo de aviso desencadenaba un gran esfuerzo de atención que estaba acompañado de mayor potencia de theta previa al estímulo en la línea media en las frecuencias de 3.90, 4.68, 5.46 y 6.24 Hz, potencia que estuvo asociada a las respuestas correctas. Si esto no era así, la respuesta era incorrecta, lo que sugiere que los niños con

problemas de aprendizaje requieren de un gran esfuerzo para responder correctamente. Esto podría explicar el por qué en el estudio de Fernández y cols. (1998) las frecuencias en la banda theta en la línea media no mostraron diferencias significativas, ya que en los niños normales no se requería un esfuerzo tan pronunciado y por lo tanto no se requería de la actividad de la corteza del cíngulo anterior. Esta explicación sobre la dificultad de la tarea para estos niños es congruente con los resultados conductuales ya que la diferencia entre el número de respuestas correctas de los niños con problemas de aprendizaje (69%) y de los niños normales fue significativa (81%, Fernández, comunicación personal;  $p < .01$ ). Además, la mitad de la muestra original de los niños con problemas de aprendizaje fue descartada porque tuvo un porcentaje de respuestas correctas que no permitía concluir si estaban o no contestando al azar.

En los segmentos previos al estímulo cuando las respuestas fueron correctas se observaron mayores potencias en frecuencias de la banda alfa (10.14, 10.92, 12.48 Hz) en las regiones temporal izquierda (T3, T5), frontal media (FZ), frontal izquierda, (C3), temporal media derecha (T4) y occipital derecha (T6, O2). Estos resultados apoyan los descritos por Morrell (1966), Boddy (1971) y Ogilvie y cols. (1991), quienes concluyeron que la actividad alfa previa al estímulo favorece la respuesta correcta y rápida del sujeto. Esa mayor potencia alfa que se observa en el presente experimento precediendo a las respuestas correctas sugiere que para poder procesar adecuadamente la información, es necesario que las regiones cerebrales mencionadas previamente estén en un estado de reposo o inactivación ("idling"). Vogt y cols. (1998) relacionaron directamente la actividad alfa con la buena ejecución de sujetos adultos calculando la correlación existente entre la PR normalizada de 4 a 16 Hz del EEG y el número de palabras recordadas en una prueba de memoria. El EEG se registró en 3 condiciones: con los ojos cerrados, con los ojos abiertos y durante la memorización de las palabras. En el rango de 10 a 12 Hz ó alfa alto encontraron diferencias significativas

especialmente en las condiciones de ojos abiertos y memorización entre la PR normalizada de los sujetos con ejecución deficiente y la PR normalizada de los sujetos que tenían una ejecución adecuada, concluyendo que la banda alfa alta está asociada directamente con la ejecución en pruebas de memoria en ese tipo de condiciones. Los resultados coinciden con los obtenidos en esta tesis, ya que las respuestas correctas fueron precedidas por mayor actividad alfa de 10 a 12 Hz.

Para Basar y cols. (2000), alfa puede ser "inducido internamente" en el segundo previo al estímulo omitido. A los sujetos se les presentaban tonos a intervalos regulares. Cada tercer o cuarto tono se omitía de vez en cuando y se les pedía a los sujetos que predijeran y marcaran mentalmente el tiempo de ocurrencia de las señales omitidas. Muchos sujetos reportaron que al comenzar la sesión tuvieron dificultades para predecir el tiempo de ocurrencia de la omisión del estímulo. Basar y cols. tomaron 10 intervalos preestímulo al comienzo del experimento y 10 al final. Encontraron en regiones centrales mayor amplitud y sincronización de alfa en el segundo previo al tono omitido al finalizar el experimento que al comenzar. Estos autores piensan que los patrones recurrentes en la banda de frecuencias alfa están vinculados a procesos de memoria a corto plazo.

Se confirma por lo tanto la hipótesis no. 1, la cual se refiere a que la actividad electroencefalográfica previa a la presentación del estímulo cuando la respuesta es incorrecta debe caracterizarse por una menor potencia en las frecuencias de la banda alfa que la actividad electroencefalográfica previa a la presentación del estímulo cuando la respuesta es correcta y que esta relación ocurre sin intervención de la somnolencia. También se confirmó la hipótesis no. 2, la cual plantea que las diferencias entre la actividad electroencefalográfica previa a las respuestas correctas e incorrectas deben observarse en las regiones que participan en la realización de la tarea, pues como ya se discutió, los menores valores de alfa que preceden a las respuestas incorrectas se observaron en las derivaciones frontal media izquierda y temporales izquierdas, que se sabe que participan directamente



en el circuito fonológico de la memoria de trabajo, por lo que una menor potencia alfa en esas estructuras sugiere que puede haber una falla en el circuito articulatorio de la memoria de trabajo verbal, lo cual explica que la respuesta sea incorrecta, como se observa también en el estudio de Fernández y cols. (1998). El hecho de que también se observara una menor potencia en frecuencias de la banda alfa en las derivaciones temporales y occipitales derechas previo a las respuestas incorrectas es más difícil de explicar. Se sabe que estas regiones están directamente relacionadas con el procesamiento visual de forma y color. El estímulo utilizado es visual y pudiera suceder que en el caso de los niños con problemas de aprendizaje la codificación visual fuera inadecuada provocando la respuesta incorrecta. Silva y cols. (enviado) estudiaron los potenciales relacionados a eventos en un grupo de niños con deficiencias en la lectura y concluyeron que éstas podían explicarse por una falla en la codificación de las palabras.

En una tarea de atención sostenida en niños normales (Fernández y cols., 1998) se observó mayor potencia a 1.56 Hz y a 3.12 Hz previa al estímulo para respuestas incorrectas que para correctas en regiones frontales. En esta tesis se observó mayor potencia a 2.34 Hz en F8 precediendo a las respuestas incorrectas. Estas frecuencias dentro de la banda delta se han asociado con la inhibición de estímulos no relevantes durante la realización de tareas que requieren de una gran atención a los procesamientos internos (Vogel y cols., 1968), a la realización de cálculos mentales difíciles (Harmony y cols., 1996) y a la concentración durante la meditación yoga (Roldán y cols., 1980). Por lo tanto, la presencia de mayor actividad a 2.34 Hz previa al estímulo pudiera ejercer un efecto inhibitorio sobre el procesamiento del estímulo que debe memorizarse con la consecuente ejecución incorrecta.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

En cuanto a la mayor potencia en 14.04 Hz focalizada en la región central media previa a las respuestas incorrectas, los resultados contradicen los

estudios de Townsend y Johnson (1979) y Belyavin y cols. (1987), quienes describen mayores TR y mayor número de omisiones, respectivamente, asociados a menor actividad beta en regiones occipitales y parietales. Se sabe que la actividad beta está asociada a demandas cognitivas y emocionales (Ray y Cole, 1985). Ray y Cole (1985) analizaron cómo las demandas de atención (al medio externo o al medio interno) influenciaban a las tareas cognitivas (tareas verbales y tareas espaciales) y a las tareas emocionales (que evocaban sentimientos placenteros o desagradables). Mediante un análisis de varianza observaron diferencias entre las tareas cognitivas en las frecuencias de la banda beta en áreas parietales. También, las mayores diferencias entre las valencias emocionales se observaron en la actividad beta. En cambio, las demandas de la atención se vieron reflejadas en la frecuencia de alfa. Sin embargo, los cambios que se producen en beta durante la realización de tareas mentales siguen distribuciones topográficas muy variadas y específicas para las tareas, por lo que resulta difícil su interpretación (Fernández y cols., 1995).

Tomando en cuenta, por un lado, que los niños con problemas de aprendizaje de esta tesis tenían un número significativamente menor de respuestas correctas que los niños control, lo cual sugiere que para ellos tuvo mayor dificultad la tarea, y, por otro lado, que en niños normales las respuestas correctas estuvieron precedidas por mayor potencia en 8.58, 9.36, 18.72 y 19.50 Hz en regiones frontales (Fernández y cols., 1998), mientras que en los niños con problemas de aprendizaje se observaron diferencias entre respuestas correctas e incorrectas en todas las bandas y en las diferentes áreas corticales, puede concluirse que posiblemente en los niños con problemas de aprendizaje se activan redes neuronales distintas previamente a la realización de la tarea de memoria de trabajo, hecho que probablemente está relacionado con la mayor dificultad que para ellos tuvo la tarea.

## VII. CONCLUSIONES

En los niños con problemas de aprendizaje se observaron diferencias entre la potencia del EEG previo a respuestas correctas y la potencia del EEG previo a respuestas incorrectas en todas las bandas de frecuencia. Se observó mayor potencia en la banda theta (3.9, 4.68, 5.46 y 6.24 Hz) sobre la línea media precediendo a las respuestas correctas. Esto sugiere la participación del componente ejecutivo de la atención y de los procesos de memoria. También se presentó mayor potencia en alfa (10.14, 10.92, 12.48 Hz), en regiones frontotemporales izquierdas y occipitotemporales derechas en los segmentos previos al estímulo cuando las respuestas eran correctas. Las primeras son importantes en las tareas de memoria de trabajo y las segundas participan en el procesamiento visual de los números. Por lo tanto, si no se encuentra la actividad oscilatoria requerida en el momento en el que se da el estímulo, esto pudiera explicar las fallas en la ejecución. La mayor potencia previa a respuestas incorrectas en delta (2.34 Hz) en el área frontal derecha, sugiere la inhibición a los estímulos externos previos a los dígitos a memorizar. Estos resultados muestran la activación de redes neuronales diferentes en los niños con problemas de aprendizaje en comparación con los niños normales.

## VIII. APÉNDICE

Tabla no. 3 se muestran los CI de las escalas verbal, ejecutiva y total del WISC-R, si los niños tuvieron antecedentes biológicos de riesgo (AB) con un asterisco y el resultado de los análisis del EEG cualitativo y cuantitativo en reposo.

Sujeto	CI EV	CI EE	CI ETot.	AB	EEG cualitativo	EEG cuantitativo
A02	85	80	81		EEG paroxístico debido a puntas y ondas agudas en la región parietooccipital izquierda	mayor PR theta en Fp2, F8, F4 y PZ
A03	97	74	85		EEG paroxístico por puntas y ondas lentas más evidentes en regiones frontocentrales derechas	normal
A06	91	70	79	*	normal	Actividad basal anormal por incremento de la PA en theta en las regiones parietales y temporales de forma bilateral; aumento en la PR de theta en forma generalizada
A13	75	70	71		normal	normal
A18	90	82	85	*	"	"
A19	94	81	86		"	"
A23	84	73	77		"	"
A26	100	72	85		"	"
<i>Media</i>	<i>89.5±8</i>	<i>75.2±4</i>	<i>81.1±5</i>			

Las anomalías electroencefalográficas detectadas en 3 de los 8 sujetos durante las etapas de reposo con ojos cerrados se describirán a continuación. Después de las interpretaciones se describen los resultados generales de los 26 sujetos remitidos al Centro de Neurobiología y a los que se realizó un estudio completo. Posteriormente se muestran los mapas de la actividad electroencefalográfica en la condición de reposo de los niños en el momento en que se detectaron algunas anomalías. Se agradecen las interpretaciones de la Dra. Thalía Fernández y del Dr. Efraín Santiago por efectuar los análisis cuantitativo y cualitativo del EEG, respectivamente.

**A02, C. A. R. R.,** niño. Presentó un EEG anormal por la presencia de actividad paroxística (puntas y ondas agudas) que traduce un incremento focal en la excitabilidad cortical parietooccipital izquierda. Empleando las normas por edad del EEG cuantitativo, se encontró una mayor potencia relativa theta en las derivaciones Fp2, F8, F4 y PZ que la que corresponde a la edad del niño.

**A03, J. A. R. M.,** niño. Se registró actividad paroxística generalizada de 0.5 s de duración integrada por puntas y ondas lentas más evidentes en las regiones frontocentrales derechas. En el análisis topográfico en el dominio del tiempo de dicha actividad se observa zona de máxima electronegatividad de 70  $\mu$ V sobre la región frontal derecha.

En el análisis cuantitativo del EEG la potencia relativa y absoluta de las frecuencias delta, theta, alfa y beta se encuentran dentro de límites normales.

**A06, M. A. E. L.,** niño. En el estudio de EEG cuantitativo se reportan anomalías por un incremento en la potencia absoluta en las frecuencias theta en las regiones parietales y temporales en forma bilateral. Además, existe un aumento en la potencia relativa de las frecuencias theta en forma generalizada.

De todos los niños de las escuelas de Juriquilla y Rancho Largo referidos por los maestros y los padres se realizaron 26 estudios completos que comprendían una entrevista psicológica, un EEG en reposo y la prueba de inteligencia WISC-R. De los 26 niños remitidos, dos tuvieron un CI menor a 70, por lo que no se incluyeron en el siguiente reporte. Los altos porcentajes de actividad anormal del EEG encontrados en los niños con problemas de aprendizaje y CI mayor a 70, confirman lo expresado por otros autores (Becker y cols., 1987; Harmony y cols., 1990a; Alvarez y cols., 1992; González Garrido y cols., 1993). Se confirma también que factores tales como la existencia de antecedentes biológicos de riesgo de daño cerebral y un bajo status socioeconómico parecen estar asociados a anomalías en el EEG (Harmony y cols., 1988; Harmony y cols., 1990b).

Como puede verse en la tabla número 4, en el 58.33% de los 24 niños se observaron anomalías en el EEG. El 12.5% de ellos tuvo un EEG únicamente paroxístico, mientras que otro 12.5% del total de los niños presentó sólo actividad de base anormal. La mayoría de los paroxismos fueron puntas y ondas agudas (2 niños) y puntas y ondas lentas (1 niño). La actividad basal de la banda theta fue mayor que la normal para la edad en 3 de los niños.

De ese 58.33% de niños con EEG anormales, el restante 33.3% de niños (8) tuvo actividad anormal de ambos tipos. El 20.83% del total de los niños que tuvieron ambos tipos de anomalías tuvo tanto puntas y ondas agudas como una mayor actividad theta que la debida para su edad. Otros 2 niños presentaron puntas y ondas agudas pero con una mayor actividad delta y alfa y otro presentó brotes de delta y theta asimétricos durante la hiperventilación y una mayor actividad theta en la actividad de base. De estos 24 niños, prácticamente todos tuvieron un status socioeconómico bajo y el 33.33% presentó antecedentes biológicos de riesgo de daño cerebral según lo indican Harmony y cols. (1988).

Tabla no. 4, se muestra el número y porcentaje de niños con problemas de aprendizaje en la condición de reposo con ojos cerrados en los que se observaron EEG normales y anormales tanto en el EEG cualitativo como cuantitativo.

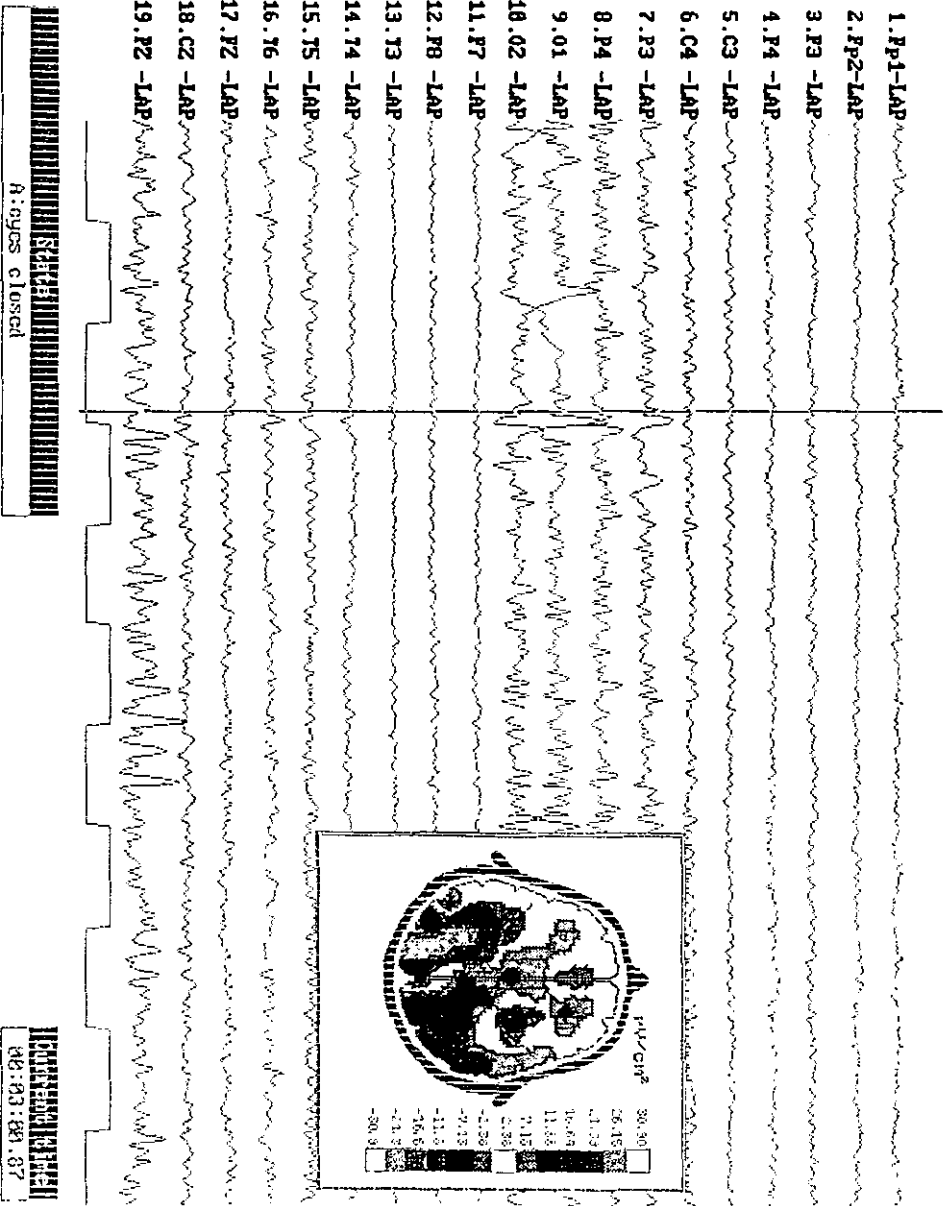
<b>n=24</b>	<b>n</b>	
<b>Niños con EEG normal</b>	<b>10</b>	<b>41.66%</b>
<b>Niños con EEG anormal</b>	<b>14</b>	<b>58.33%</b>
<i>a) Paroxístico</i>	3	12.5%
<i>b) EEG de base anormal</i>	3	12.5%
<i>c) Paroxístico y EEG de base anormal:</i>	8	33.33%
<i>c1) puntas y ondas agudas y mayor actividad theta</i>	5	20.83%
<i>c2) puntas y ondas agudas y mayor actividad alfa</i>	1	4.1%
<i>c3) puntas y ondas agudas y una mayor actividad delta</i>	1	4.1%
<i>c4) brotes de delta y theta asimétricos durante la hiperventilación y mayor actividad theta</i>	1	4.1%

TrackWalker Version 2.0

Patient name: Carlos Alfredo Romero Ramirez

Code: 402

Date of Recording: 3/ 7/1999



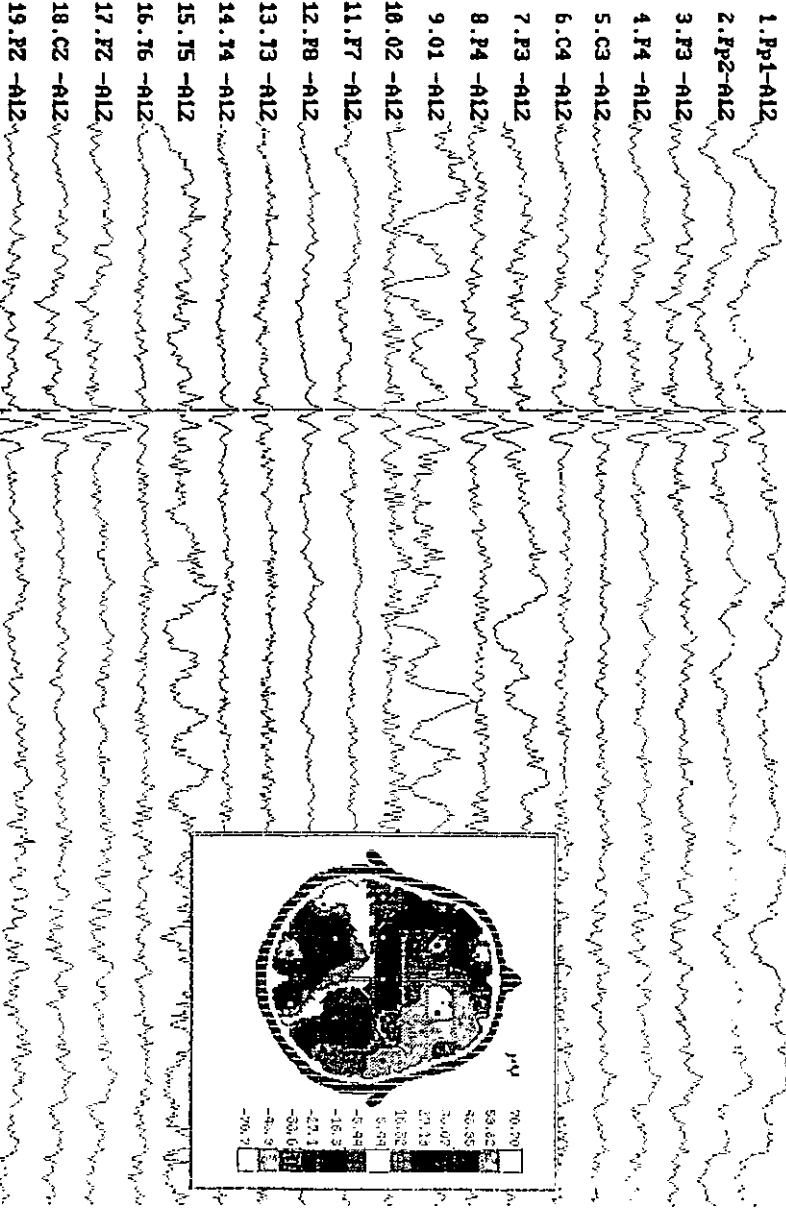


TrackWalker Version 2.0

Patient name: Jose Antonio Romero Martínez

Code: repA03

Date of Recording: 3/ 7/1999

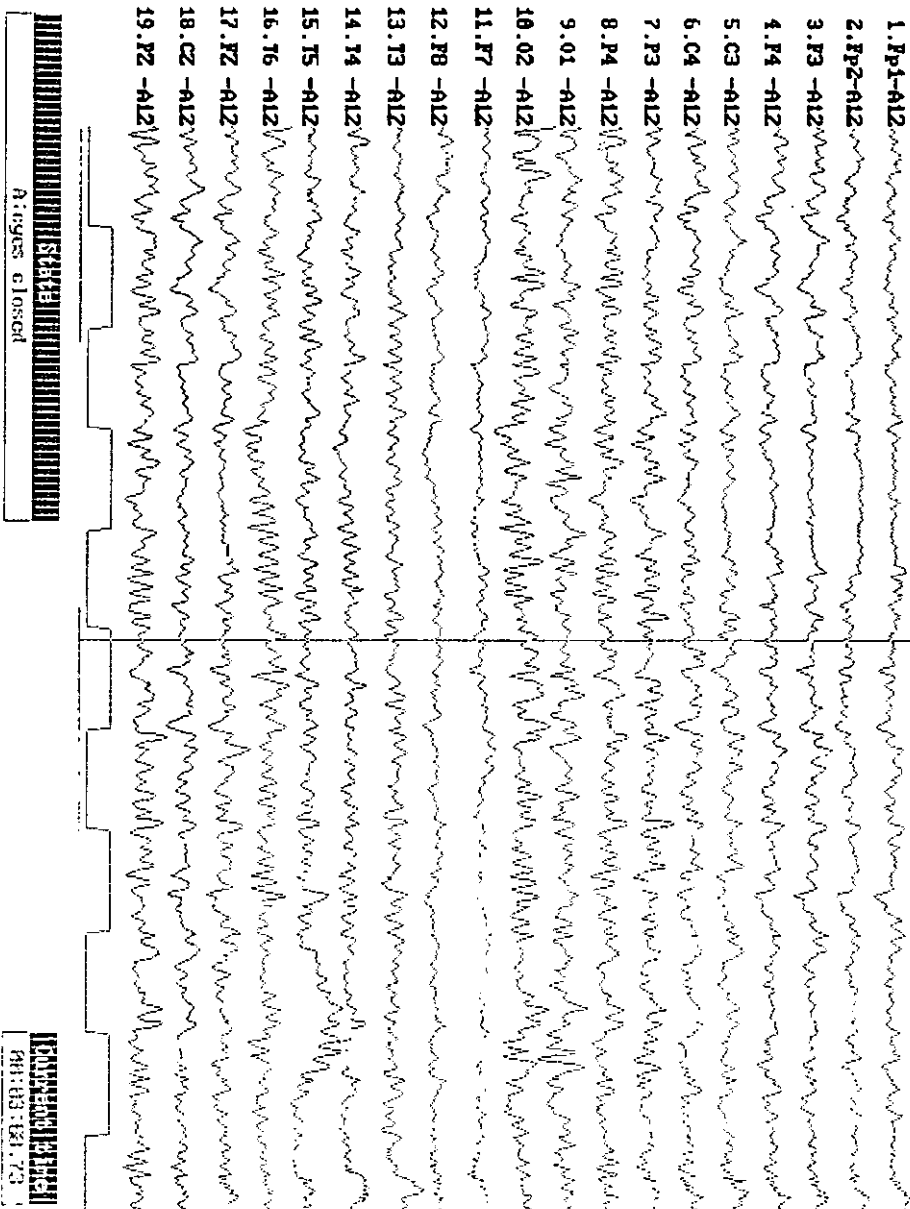


TrackWalker Version 2.0

Patient name: Manuel Alejandro Elias Ledezma

Code: repa06

Date of Recording: 4/ 6/1999



## IX. REFERENCIAS

Aarts, H. P., Binnie, C. D., Smit, A. M., Wilkins, A. J. (1984) *Selective cognitive impairment during focal and generalized epileptiform EEG activity*. Brain, 107: 293-308.

Ahn, H., Pritchep, L., John, R. (1980) *Developmental equations reflect brain dysfunctions*. Science, 210, 1259-1262.

Alvarez, A., Pérez, M.C., Morenza P. L., (1992) *Neuropsychological assessment of learning disabled children with paroxysmal EEG activity*. Magistretti, P. J., Leonardi, M. (eds). En "New Issues in Neurosciences. Basic and Clinical Approaches. Neuropsychological aspects in epilepsy", 4, 40-56.

Baddeley, A. D. (1999) *Memoria humana: teoría y práctica*. McGraw Hill Interamericana. México, D.F.

Basar, E., Basar-Eroglu, C., Karakas, S., Schürmann, M. (2000) *Brain oscillations in perception and memory*. International Journal of Psychophysiology, 35, 95-124.

Beatty, J., Greenberg, A., Deibler, W.P., O'Hanlon, J.F. (1974) *Operant control of occipital theta rhythm affects performance in a radar monitoring task*. Science, 183, 871-873.

Becker, J., Velasco, M., Harmony, T., Marosi, E., Landázuri, A.M. (1987) *Electroencephalographic Characteristics of Children with Learning Disabilities*. Clinical Electroencephalography, 18, 93-101.

Belyavin, A., Wright, N.A. (1987) *Changes in electrical activity of the brain with vigilance*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 66, 137-144.

Boddy, J. (1971) *The relationship of reaction time to brain wave period: a re-evaluation*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 30, 229-235.

Broadbent, D.E. (1983) *Percepción y comunicación*. Distribuciones hispánicas, Editorial Debate, México, D.F.

Buckner, R. L., Tulving, E. (1995) *Neuroimaging studies of memory: theory and recent PET results*. Grafman (Eds.). En "Handbook of Neuropsychology", capítulo 16, vol. 10, Amsterdam, Elsevier, 439-466.

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

Dixon, P., LeFevre, J., Twilley, L.C. (1988) *World knowledge and working memory as predictors of reading skill*. Journal of Educational Psychology, 80, 465-472.

Fernández, T., Harmony, T., Rodríguez, M., Bernal, J., Silva, J., Reyes, A., Marosi, E. (1995) *EEG activation patterns during the performance of tasks involving different components of mental calculation*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 94, 175-182.

Fernández, T., Harmony, T., Silva, J., Galán, L., Díaz-Comas, L., Bosch, J., Rodríguez, M., Fernández-Bouzas, A., Yáñez, G., Otero, G., Marosi, E. (1998) *Relationship of specific EEG frequencies at specific brain areas with performance*. Neuroreport, 9, 3681-3687.

Galán, L., Biscay, R., Rodríguez, J.L., Pérez-Arévalo, M., Rodríguez, R. (1997) *Testing topographic differences between event related brain potentials by using non-parametric combinations of permutation tests*. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 102, 240-247.

Gray, C. M., Engel, A., König, P., Singer, W. (1991) *Mechanisms underlying the generation of neuronal oscillations in cat visual cortex*. Bullock, T.H. y Basar, E. (eds.) En "Induced Rhythms of the Brain". Academic Press, Cambridge, MA, 29-45.

Gevins, A., Smith, M.E., McEvoy, L., Yu, D. (1997) *High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: effects of task difficulty, type of processing and practice*. Cerebral Cortex, 7, 374-385.

González Garrido, A., Alvarez, A., Morgade, R.M., Jiménez S., Galán, L., Oliva, I., Valdés, M. (1993) *Comparison of EEG abnormal activities in learning disabled, behavioral disordered and normal children*. Archivo del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, México, 8, 67-72.

Harmony, T., Alvarez, A., Pascual, R., Ramos, A., Marosi, E., Díaz de León, A. E., Valdés, P., Becker, J. (1988) *EEG maturation on children with different economic and psychosocial characteristics*. International Journal of Neuroscience, 41, 103-113.

Harmony, T., Marosi, E., Becker, J., Reyes, A., Rodríguez, M., Bernal, J., Hinojosa, G. y Fernández, T. (1990a) *Correlation between EEG spectral parameters and an educational evaluation*. International Journal of Neuroscience. 54, 147-155.

Harmony, T., Marosi, E., Díaz de León, A. E., Becker J., y Fernández, T. (1990b) *Effect of sex, psychosocial disadvantages and biological risk factors on*

*EEG maturation*. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 75, 482-491.

Harmony, T., Marosi, E., Becker, J., Reyes, A., Rodríguez, M., Bernal, J., Hinojosa, G. y Fernández, T. (1992) *Correlación entre el análisis de frecuencias del EEG y el rendimiento en pruebas de atención selectiva y memoria en niños*. *Revista Latinoamericana de Pensamiento y Lenguaje*, 1, 93-103.

Harmony, T., Marosi, A. E., Becker J., Rodríguez, M., Reyes, A., Fernández, T., Silva, J., Bernal, J. (1995) *Longitudinal quantitative EEG study of children with different performances on a reading-writing test*. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 95, 426-433.

Harmony, T., Fernández, T., Silva, J., Bernal, J., Díaz-Comas, L., Reyes, A., Marosi, A. E., Rodríguez, M., Rodríguez, M. (1996) *EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks*. *International Journal of Psychophysiology*, 24, 161-171.

Harmony, T., Fernández, T., Fernández-Bouzas, A., Silva-Pereyra, J., Bosch, J., Aubert, E., Valdés, P., Barrios, F., Rodríguez, D. (2000) *Estudios funcionales de imagen (tomografía eléctrica cerebral y resonancia magnética funcional) durante la realización de una tarea de cálculo mental*. *Revista Latina de Pensamiento y Lenguaje*, 2, 257-273.

Iramina, K., Ueno, S., Matsuoka, S. (1996) *MEG and EEG Topography of frontal midline theta rhythm and source localization*. *Brain Topography*, 8, 329-331.

Ishihara, T., Yoshii, N. (1972) *Multivariate analytic study of EEG and mental activity in juvenile delinquents*. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 33, 71-80.

John, E. R. (1980) *Developmental equations for the EEG*. *Science*, 210, 1255-1258.

Jonides, J., Smith, E.E (1997) *The architecture of working memory*. Rugg, M.D. En "Cognitive Neurosciences", MIT Press, Cambridge, capítulo 8, 243-275.

Just, M.A., Carpenter, P.A. (1992) *A capacity theory of comprehension: individual differences in working memory*. *Psychological Review*, 99, 122-149.

Klimesch, W. (1999) *EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis*. *Brain Research Reviews*, 29, 169-195.

Lopes da Silva (1991a) *Neural mechanisms underlying brain waves: from neural membranes to networks*. Review article. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 79, 81-93.

Lopes da Silva (1991b) *The rhythmic slow activity (theta) of the limbic cortex. An oscillation in search of a function*. Bullock, T.H. y Basar, E. (eds.) En "Induced Rhythms of the Brain". Academic Press, Cambridge, MA, 84-102.

Makeig, S., Inlow, M. (1993) *Lapses in alertness: coherence of fluctuations in performance and EEG spectrum*. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 86, 23-35.

Mesulam, M. (1990) *Large-Scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language and memory*. *Annals of Neurology*, 28, 597-613.

Morrell, L. (1966) *EEG frequency and reaction time -a sequential analysis*. *Neuropsychologia*, 4, 41-48.

Ogilvie, R. D., Simons, I.A., Kuderian, R.H., MacDonald, T., Rustenburg, J. (1991) *Behavioral event-related potential, and EEG/FFT changes at sleep onset*. *Psychophysiology*, 28, 54-64.

Pardo, J., Pardo, P., Janer, K.W., Raichle, M. (1990) *The anterior cingulate cortex mediates processing selection in the Stroop attentional conflict paradigm*. *Proceedings of the Natural Academy of Science, USA*, 87, 256-259.

Paulesu, E., Frith, C.D., Frackwiak, R.S.J. (1993) *The neural correlates of the verbal component of working memory*. *Nature*, 362, 342-345.

Petrides, M., Alivisatos, B., Meyer, E., Evans, A. (1993) *Functional activation of the human frontal cortex during the performance of verbal working memory tasks*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 90, 878-882.

Posner, M.I., Petersen, S.E., Fox, P.T., Raichle, M.E. (1988) *Localization of cognitive operations in the human brain*. *Science*, 240, 1627-1631.

Ray, W.J., Cole, H.W. (1985) *EEG Alpha reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes*. *Science*, 228, 750-752.

Roldán, P., Lepicovska, V., Dostalek, C., Hrudova, L. (1980) *Effects of breathing at a fast pace on the human EEG*. *Activ. Nerv. Sup. (Praha)*, 22, 124.

Silva-Pereyra, J., Fernández, T., Díaz-Comas, L., Harmony, T., Fernández-Bouzas, A., Rodríguez, M., Bernal, J., Rivera-Gaxiola, M., Marosi, E. (enviado) *Poor readers are not semantically challenged: an event-related brain potential assessment.*

Smulders, F.T.Y., Kenemans, J.L., Jonkman, L.M., Kok, A. (1997) *The effects of sleep loss on task performance and the electroencephalogram in young and elderly adults.* Biological Psychology, 45, 217-239.

Sternberg, S. (1966) *High-speed scanning in human memory.* Science, 153, 652-654.

Swanson, L.H. (1994) *Short-term memory and working memory: do both contribute to our understanding of academic achievement in children and adults with learning disabilities?* Journal of Learning Disabilities, 27, 34-50.

Townsend, Johnson (1979) *Relation of frequency-analyzed EEG to monitoring behavior.* Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 47, 272-279.

Valentino, D. A., Arruda, J. E., Gold, S.M. (1993) *Comparison of QEEG and response accuracy in good and poorer performers during a vigilance task.* International Journal of Psychophysiology, 15, 123-133.

Vogel, W., Broverman, D.M., Klaiber, E.L. (1968) *EEG and mental abilities.* Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 24, 166-175.

Vogt, F., Klimesch, W., Doppelmayr, M. (1998) *High-frequency components in the alpha band and memory performance.* Journal of Clinical Neurophysiology, 15, 167-172.

Wechsler, D. (1981) *WISC-R Español. Escala de Inteligencia revisada para el nivel escolar.* Manual. Editorial el Manual Moderno, México, D.F.

Williams, H.L., Granda, A. M., Jones, R.C., Lubin, A., Armington, J.C. (1962) *EEG frequency and finger pulse volume as predictors of reaction time during sleep loss.* Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 14, 64-70.